

Вирулентно разнообразие на ръждата по фасул в България

Магдалена Колева^{1*}, Иван Киряков²

¹ Шуменски Университет „Епископ Константин Преславски“, Колеж Добрич

² Добруджански Земеделски Институт, гр. Генерал Тошево

*E-mail: m.koleva@shu.bg

Резюме

Ръждата по фасул е заболяване с икономическо значение за много райони на света. В България се среща ежегодно в Родопите, а за равнинните части на Северна България болестта има спорадичен характер. Използването на устойчиви сортове е икономически най-изгодният и екологосъобразен метод за контрол на болестта. От първостепенно значение за всяка селекционна програма насочена към създаване на устойчиви сортове е проучването на вирулентното разнообразие в популацията на патогена. Настоящият обзор представя обобщена информация относно разпространение и икономическо значение, етиология и симптомология на болестта, генетичен контрол на устойчивостта, вирулентно разнообразие на патогена по света и в България през последните 20 години.

Ключови думи: обикновен фасул; *P. vulgaris*; ръжда; *U. appendiculatus*, вирулентно разнообразие

Virulence diversity in bean rust in Bulgaria

Magdalena Koleva^{1*}, Ivan Kiryakov²

¹ Konstantin Preslavski University of Shumen, College Dobrich

² Dobrudzha Agricultural Institute, 9520 General Toshevo

*E-mail: m.koleva@shu.bg

Citation

Koleva, M. & Kiryakov, I. (2020). Virulence diversity in bean rust in Bulgaria. *Rastenievadni nauki*, 57(5) 14-21 (Bg).

Abstract

Bean rust is a disease of economic importance to many parts of the world. In Bulgaria it occurs annually in The Rhodope mountain, and for the plains of Northern Bulgaria the disease is sporadic. The use of resistant varieties is the most cost-effective and environmentally friendly method of disease control. Of paramount importance for any breeding program aimed at creating resistant varieties is the study of virulence diversity in the pathogen population. This review presents summary information on the spread and economic significance, etiology and symptomatology of the disease, genetic control of resistance, virulent diversity of the pathogen worldwide and in Bulgaria over the past 20 years.

Key words: common bean; *P. vulgaris*; rust; *U. appendiculatus*; virulence diversity

Ръждата по фасул е икономически най-важното заболяване по фасула за много райони на света (Stavely et al., 1983). Болестта се среща предимно в Северна и Южна Америка (Davison & Vaughan, 1963; Stavely et al., 1983; Avededo et al.,

2005; Souza et al., 2007), Африка (Steadman et al., 2002), Австралия (Ballantyne, 1978), и има ограничено разпространение в Азия (Su et al., 1998) и Европа (Rudolph & Baykal, 1978; Stavely & Pastor-Corrales, 1989). В тропичните райони епи-

фитотийно развитие на болестта се наблюдава рядко, но въпреки това ръждата се приема като лимитиращ производството на фасула фактор (Mmbaga et al., 1996). В зависимост от момента на поява, чувствителността на гостоприемника и агрометеорологичните условия на района, ръждата може да причини загуба в добивите на фасул от 25 до 100% (Stavelly et al., 1983; Stavelly & Pastor-Corrales, 1989; Schwartz & Gent, 2004). Болестта е съобщена за първи път в края на 18-ти век в Северна Америка (Stavelly et al., 1983).

В България ръждата по фасула е описана в началото на 20-ти век (Kovachevski, 1930). За района на Северна България, разпространение на болестта е установено в шест пункта през периода 1998-2003 г. (Kiriyakov & Genchev, 2001, 2003, 2004; Beleva 2010), а през 2018 г. тя е наблюдавана в ДЗИ – гр. Генерал Тошево (Koleva & Kiriyakov, 2020). Според Kiriyakov & Genchev (2003) за тази част на страната болестта има спорадичен характер и се появява късно през вегетацията, но в години с благоприятни климатични условия може да се развие епифитотийно. През 2006-2007 г. е установено разпространение на ръждата по фасула в пет пункта на Родопите (Genchev & Kiriyakov, 2005; Beleva, 2010). Болестта има стопанско значение за тази част на страната, където монокултурно, на малки площи се отглеждат местни форми обикновен (*Phaseolus vulgaris* L.) и многоцветен (*Phaseolus coccineus* L.) фасул (Genchev & Kiriyakov, 2005).

Причинителят на ръждата по фасула е описан за първи път като *Uredo appendiculata* var. *phaseoli* през 1795 г. (Persoon), по-късно като *Uromyces appendiculatus* (Link, 1816), *Caecoma phaseoli* (Nees von Esenbeck, 1817), *Uromyces phaseolorum* (De Bary, 1863), *Uromyces phaseoli* (Winter, 1881) и др. До края на 20-ти век широко използвано е класифицирането на Winter (1881) като *Uromyces phaseoli*, но в наши дни в литературата се среща единствено като *Uromyces appendiculatus*.

Патогенът е макроцикличната, автоецидна, фитопатогенна гъба от Отдел *Basidiomycota*, разред *Pucciniales*. образува пет типа спори: телио-, базидио-, пикнидио-, ецидио- и уредоспори (Stavelly, 1991). Благоприятни температури за покълването на телиоспорите са 22-26°C (Stavelly, 1991; Groth & Ozmon, 2002; Avededo, 2007). В зависимост от условията, пикнидии-

те се появяват от шест (Avededo, 2007) до двадесет и осем дни по-късно (Beleva, 2010). Ецидии се наблюдават приблизително след два до осем дни при температури съответно 20-25°C и 22°C (Beleva, 2010; Groth & Ozmon, 2002). Осем до десет дни след заразяване на листата с ецидиоспори по двете повърхности се появяват червено-кафяви до ръждиви уредоспори с уредоспори (Groth & Mogen, 1978). Уредоспорите се разпространяват чрез въздушните течения и осъществяват многократни заразявания на гостоприемника през вегетацията. Те кълнат при оптимална температура 16-25°C, като латентният период варира от пет дни при 20-25°C дневна и 16-18°C нощна температура до десет дни при средноденонощна температура 15.4-17.8°C (Beleva, 2010). В зависимост от условията на средата и гостоприемника продължителността на инкубационния период е 12-15 дни (Imhoff et al., 1982; Stavelly, 1991; Beleva, 2010). Заразяването с уредоспори се благоприятства от висока относителна влажност на въздуха и задържане на капки роса в продължение на 10-18 часа (Harter et al., 1935; Stavelly, 1991).

Телио- и уредоспорите, презимували в растителните остатъци, са основен източник на първична инфекция в зависимост от агрометеорологичните условия на съответния район (Stavelly & Pastor-Corrales, 1989; Stavelly, 1991; Gross & Venette, 2001). Според Schwartz et al. (1989) и Pastor-Corrales (2006) формирането на пикнидии и ецидии е рядко явление, но независимо от това половата форма на патогена е установена в няколко щата на САЩ (Vegnette et al., 1978; McMillan et al., 1990; Schwartz & Gent, 2004) и Германия (Stavelly & Pastor-Corrales, 1989). При контролирани условия, Beleva (2010) наблюдава поява на пикнидии и ецидии върху несъщински листа на сорт „Добруджански 7“ след инокулиране с покълнали телиоспори, с произход Родопите. Според автора, вероятно патогенът зимува като телиоспори и завършва пълен цикъл на развитие в тази част на България, и се разпространява с въздушните течения в останалите райони като уредоспори.

Гостоприемници на *U. appendiculatus* са видове от род *Phaseolus* - *P. coccineus* L., *P. accutifolius* L., *P. lunatus* L., видове от род *Vigna*, но *P. vulgaris* L. се счита за основен (Stavelly & Pastor-Corrales, 1989).

Устойчивостта на *P. vulgaris* към *U. appendiculatus* е моногенна и следва принципите, заложиени в теорията “ген за ген” (Stavely, 2000). В повечето случаи тя има доминантен характер и се контролира от един расово-специфичен ген (Stavely & Pastor-Corrales, 1989). Това дава възможност за групиране на изолатите от популацията на патогена във физиологични раси на основа вирулентността им към група от диференциращи сортове. Към настоящия момент в генетичната листа на *P. vulgaris* са включени 15 расово-специфични гени отбелязани съответно от *Ur-1* до *Ur-14* (Bean Improvement Cooperative, 2018) (Таблица 1).

За първи път Harter et al. през 1935 г. съобщават за наличие на физиологични раси при *U. appendiculatus*. През следващите почти петдесет години са идентифицирани над 150 раси на патогена (Stavely, 1984), но на база реакцията на вариращ набор от сортове диференциатори, от седем (Harter & Zaumeier, 1941) до дванадесет (Allen, 1975). Успоредно с това са разработвани и използвани различни скали за отчитане типа на инфекция и степента на нападение, методи за инокулация и отбелязване на идентифицираните раси (Harter & Zaumeier, 1941; Fisher, 1952; Davidson & Vaughan, 1963; McMillan, 1972; Ballantyne, 1978). Тези различия в методите на

Таблица 1. Расово-специфични гени (*Ur*) включени в List of Genes - *Phaseolus vulgaris* L., 2018

Table 1. Race-specific genes (*Ur*) in List of Genes - *Phaseolus vulgaris* L., 2018

<i>Ur</i> – gen / <i>Ur</i> – gene	Произход / Origin	Устойчив източник / Resistant genotype	Скачена група / Linkage Group	Литература / Reference
<i>Ur-1</i>	MA*	B1627	-	Ballantyne (1978)
<i>Ur-2</i>	MA	B2090	-	Ballantyne (1978)
<i>Ur-2</i> ²	MA	B2055	-	Ballantyne (1978)
<i>Ur-3</i>	MA	Aurora**, Mexico 235**, Nep-2, 51051;	Pv 11	Ballantyne (1978); Miklas et al. (2002); Kelly et al. (2003)
<i>Ur-4</i>	A	Early Gallatin**	Pv 06	Ballantyne (1978); Miklas et al. (2002)
<i>Ur-5</i>	A	Mexico 309**	Pv 04	Stavely (1984); Miklas et al. (2002) Kelly et al. (2003)
<i>Ur-6</i>	A	Olathe, Golden Gate Wax**	Pv 11	Ballantyne (1978); Grafton et al. (1985) Miklas et al. (2002)
<i>Ur-7</i>	MA	GN 1140**, Pinto US-5	Pv 11	Augustin et al. (1972) Park et al. (2003)
<i>Ur-8</i>	A	U.S. #3		Christ & Groth (1982)
<i>Ur-9</i>	A	Pompadour Checa**	Pv 01	Finke et al. (1986) Miklas et al. (2002)
<i>Ur-10</i>	-	Cape, Resisto		Webster & Ainsworth (1988)
<i>Ur-11</i>	MA	PI 181996**	Pv 11	Stavely (1990) Miklas et al. (2002)
<i>Ur-12</i>	A	Pompadour Checa**	Pv 07	Jung et al. (1998) Miklas et al. (2002)
<i>Ur-13</i>	A	Kranskop, Redlands Pioneer**	Pv 08	Liebenberg & Pretorius (2004) Miene et al. (2005)
<i>Ur-14</i>	-	Ouro Negro	Pv 04	Souza et al. (2011)

* MA – Middle American; A – Andean;

** Сортове включени в диференциращия ключ за рждата по фасул / Cultivars included in the bean rust differential set

работа, обаче, не дават възможност за сравняване на идентифицираните раси. През 1983 г. на международна среща за ръждата по фасула в Пуерто Рико е приет единен стандартен набор от 20 диференциращи сорта фасул, от които сорт Mountainer White Half Runner година по-късно отпада (Stavely et al., 1983; Stavely, 1984). Приета е и единна шест степенна скала за отчитане типа на инфекция (Stavely et al., 1983), а година по-късно и за степента на нападение (Stavely, 1985). През 2000 г., Liebenberg & Liebenberg предлагат използването на метода на триплетите за означаване на расите идентифицирани на основа на 19-те диференциращи сорта. На основа реакцията на диференциращия ключ, приет през 1983 г. са идентифицирани над 100 раси и 350 патотипа на *U. appendiculatus* в различни райони на света (Stavely et al., 1989; Sandlin et al., 1995; Abd-Alla, 1996; Araya et al., 1996; Mmbaga et al., 1996; Bokosi et al., 1997; Stavely, 1999;).

В България първото съобщение за физиологични раси при *U. appendiculatus* е направено от през 2001 г. Използвайки стандартния набор диференциращи сорта фасул, приет през 1983 г., Genchev & Kiryakov (2001) отнасят проучваните шест монсортови култури към две раси на патогена разпространени в Североизточна България: BG-1 (4200000) и BG-2 (5010000). Според авторите, установените раси не съответстват на съобщените до момента в литературата раси на патогена. Две години по-късно Kiryakov & Genchev (2003) идентифицират пет раси на *U. appendiculatus* (4010000, 4210000, 5010020, 5210000, 5210020), разпространени в Североизточна България и различаващи се по своята вирулентност от идентифицираните вече BG-1 и BG-2.

Натрупаната информация относно съвместните еволюционни процеси в патосистемата фасул - *U. appendiculatus* (Sandlin et al., 1999; Araya et al., 2004), различната вирулентност на изолатите на патогена към фасули от двете генетични групи: Andean и Middle American (Sandlin & Steadman, 1994), както и смесения Andean – Middle American произход на голяма част от диференциращите сортове (Sandlin et al., 1999) налагат ревизия на диференциращия ключ приет през 1983 г. (Steadman et al., 2002).

През 2002 г. е приет нов диференциращ набор от сортове (Steadman et al., 2002), който включ-

ва 12 сорта фасул разделени в две групи в зависимост от генетичната група, към която принадлежат генотиповете – Andean (A) и Middle American (MA). Успоредно с това е приета и единна бинарна система за отбелязване на расите. На основа реакцията на този диференциращ ключ до 2010 г. в света са идентифицирани над 100 раси и патотипове на *U. appendiculatus* (Avecedo et al., 2005; Paucar et al., 2006; Souza et al., 2007a; Avecedo et al., 2008). В наши дни, в литературата почти не се среща информация за идентифицирани раси по света на основа реакцията на този диференциращ ключ. Това се дължи на масовото използване на ДНК-маркери, които дават възможност за проучване популацията на *U. appendiculatus* на генотипно ниво (Hurtado-Gonzales et al., 2017; Valentini et al., 2017).

От популацията на *U. appendiculatus* събрана през периода 1998-2018 г. в района на Северна България са изолирани общо 36 монсортови култури. На основа реакцията на диференциращия ключ приет през 2002 г., Kiryakov & Genchev (2004) отнасят 12 монсортови култури към три физиологични раси на *U. appendiculatus* – 20-0, 20-2 и 20-3. Beleva (2010) отнася седем монсортови култури към седем патотипа групирани в две раси на патогена: 20-2 и 20-3. Авторът превръща типът на инфекция в количествена оценка и това дава възможност за групиране на изолатите от всяка раса в патотипове имащи идентичен вирулентен/авирулентен фенотип по отношение на диференциращите сортове. Чрез сходно групиране Avecedo (2007) идентифицира 91 патотипа отнесени към повече от 30 раси на патогена в Хондурас. Според автора, различие в един тип реакция към един диференциращ сорт е достатъчно да отнесе даден изолат към различен патотип. Kiryakov & Genchev (2004) не публикуват информация за общия вирулентен/авирулентен фенотип на проучваните монсортови изолати към диференциращите сортове, поради което не може да се направи по-точно сравнение между тях и съобщените от Beleva (2010) седем патотипа в Северна България. Koleva & Kiryakov (2020) установяват разпространението в Североизточна България на 16 патотипа на раси 20-0, 20-2, 20-16 и 20-18, от общо изолирани 17 монсортови култури. Сравнителен анализ на идентифицираните от Beleva (2010) и Koleva &

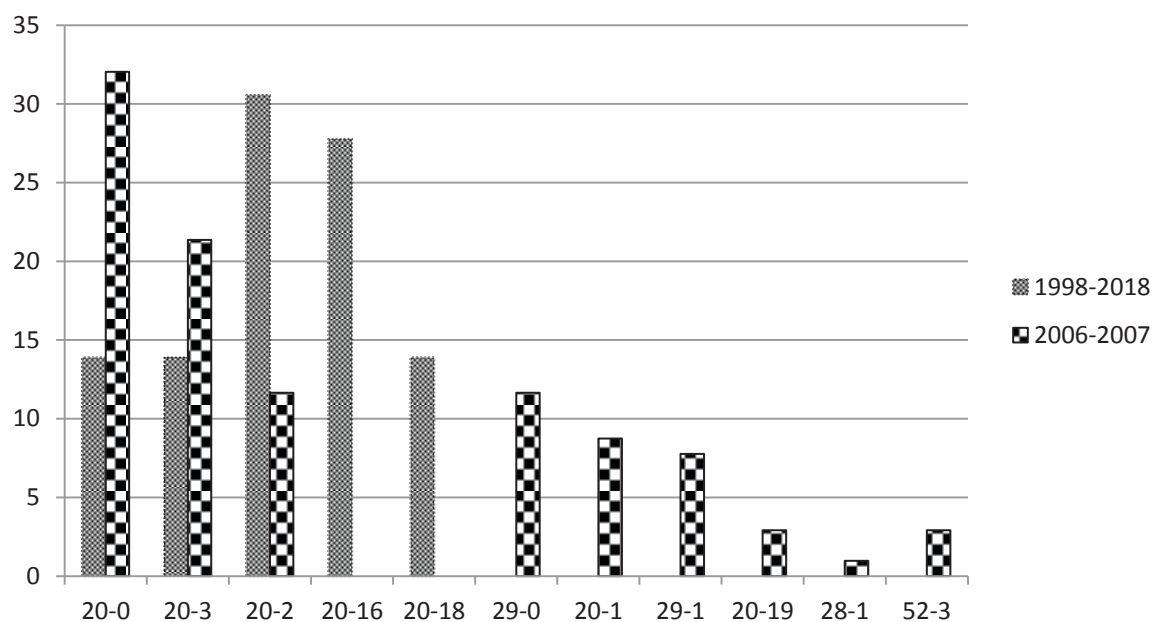
Kiryakov (2020) патотипи на раси 20-0 и 20-2 показва, че те имат различен вирулентен фенотип по отношение на диференциращите сортове. Общо за проучвания период с най-висока честота на изолиране в Северна България е раса 20-2 (30,5%), следвана от 20-16 (27,7%) (Фигура 1).

Beleva (2010) проучва вирулентността на 103 моносортови култури с произход Родопите в периода 2006-2007. Реакцията на диференциращите сортове ги отнася към 84 патотипа групирани в девет физиологични раси: 20-0, 20-1, 20-2, 20-3, 20-19, 29-0, 29-1, 28-1, 52-3. С най-висока честота на изолиране са патотиповете на раса 20-0 (32,04%), следвани от 20-3 (21,36%) и 20-2 (11,65%), а с най-ниска на раса 28-1 (0,97%) (Фигура 1). Получените от Beleva (2010) резултати показват разпространението на един и същи патотип на раса 20-3, не само в отделни райони на Родопите, но и в Родопите и Северна България. Според Miles & Steadman (1982) това е доказателство за способността на патогена да се разпространява чрез въздушните течения на големи разстояния.

Тридесет и три от установените от Beleva (2010) и Koleva & Kiryakov (2020) патотипове

(31.1%), отнесени към раси 20-0 и 29-0 са вирулентни към диференциращите сортове от А-генетичната група. От тях 32 патотипа са разпространени в Родопите през периода 2006-2007 г. и един в Североизточна България през 2018 г. Според редица автори, изолатите на *U. appendiculatus* се разделят в две групи: А-специфични, преодоляващи гени за устойчивост с А-произход и неспецифични (А-МА), преодоляващи гени за устойчивост от двете генетични групи и това разделяне е резултат на паралелните еволюционни процеси между *P. vulgaris* и *U. appendiculatus* (Sandlin & Steadman, 1994; Sandlin et al, 1995; Araya et al, 2004; Pastor-Corrales & Aime, 2004). Това ни дава основание да отнесем 33 от идентифицираните в страната 106 патотипа към А-специфичната група на *U. appendiculatus*.

Според Avededo (2007) генотипната специфика на отглежданите форми фасул е основен фактор, определящ вирулентното разнообразие в популацията на *U. appendiculatus*. Разпространението на А-патотипове на патогена в Родопите, през периода 2006-2007 г., може да се обясни с отглеждането в тази част на България на едро-



Фигура 1. Честота на изолиране на раси на *U. appendiculatus* от масови популации с произход Североизточна България и Родопите, през периода 1998-2018 г.

Figure 1. Frequency of isolation of *U. appendiculatus* races from mass populations originated by Northeast Bulgaria and Rhodoppi Mountain

семенни фасули, с катерещ тип на храста, принадлежащи предимно към А-генетичната група. Kiryakov & Genchev (2004) и Koleva & Kiryakov (2020) също установяват разпространението на раса 20-0 в Североизточна България през 2003 г. и 2018 г. съответно, като вероятно тези патотипове са се пренесли с въздушните течения от Родопите. Сравнителен анализ на идентифицираните патотипи на патогена в Североизточна България през периода 1998-2003 г. и 2018 г. показва, че за период от 15 години популацията напълно е променила своята вирулентност и в нея вече се срещат патотипи от раси 20-16 и 20-18, неустановявани до момента в страната. Промяната в патотипната структура на патогена вероятно се дължи от една страна на изцяло променената сортова структура на обикновения фасул в района, в резултат на масовото въвеждане в практиката на сортове с Па тип хабитус пригодни за механизизирано прибиране, а от друга е възможно пренасянето на тези патотипове с въздушните течения от Родопите.

Проведените до момента проучвания върху вирулентното разнообразие на *U. appendiculatus* в страната показват огромно расово и патотипно разнообразие на патогена в Родопите. Вероятните причини за това разнообразие са няколко. Нерекъснато променящите се популации на гостоприемника оказват селекционен натиск върху патогена, в резултат на което се появяват нови, по-вирулентни раси и патотипове. От друга страна, благоприятният климат създава условия за успешно презимуване на патогена в растителните остатъци като уредо и телиоспори и появата на нови раси и патотипове е резултат, съответно на мутации или рекомбинации при полов процес.

ЛИТЕРАТУРА

- Abd-Alla, H. M.** (1996). Studies on rust disease of common bean. Ph.D. thesis, Minia University, Minia, Egypt.
- Allen, D. J.** (1975). Variation in pathogenicity of *Uromyces appendiculatus*. *Annu. Rep. of Bean Improv. Coop.*, 18, 13-14.
- Araya, C. M., Steadman, J. R. & Acosta-Gallegos, J.** (1996). Pathogenic variability of *Uromyces appendiculatus* on dry edible beans in Mexico. *Annu. Rep. of Bean Improv. Coop.*, 39, 150-151.
- Araya, C. M., Alleyne, A. T. & Steadman, J. R.** (2004). Phenotypic and genotypic characterization of *Uromyces appendiculatus* from *Phaseolus vulgaris* in the Americas. *Plant Disease*, 88, 830-836.
- Augustin, E., Coyne D. P., & Schuster, M. L.** (1972). Inheritance of resistance in *Phaseolus vulgaris* to *Uromyces phaseoli typica* Brazilian rust race B11 and of plant habit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 97, 526-529.
- Avecedo, M., Steadman, J. R., Rosas, J. C., & Venegas, J.** (2005). Characterization of virulence diversity of the bean rust pathogen *Uromyces appendiculatus* in wild bean populations as a tool for effective resistance gene deployment. *Annu. Rep. of Bean Improv. Coop.*, 48, 132-133.
- Avecedo, M.** (2007). Coevolution of the bean rust pathogen *Uromyces appendiculatus* with its wild, weedy and domesticated hosts (*Phaseolus* spp.) at its center of diversity. Ph.D. Thesis, USA.
- Avecedo, M., Steadman, J. R., Rosas, J.C., & Venegas, J.** (2008). Coevolution of the bean rust pathogen *Uromyces appendiculatus* with its wild, weedy and domesticated hosts (*Phaseolus* spp.) at a center of diversity. *Annu. Rep. Bean Improv. Coop.*, 51, 22-23.
- Ballantyne, B. J.** (1978). The genetic bases of resistance to rust, caused by *Uromyces appendiculatus* in bean (*Phaseolus vulgaris*). Ph.D. thesis, Univ. Sydney, Australia
- Bean Improvement Cooperative.** (2018). List of Genes – *Phaseolus vulgaris* L. <http://www.bic.uprm.edu/wp-content/uploads/2019/10/Bean-Genes-List-2018-v2-1.pdf>
- Beleva, M.** (2010). Investigations on common bean rust in Bulgaria. Ph.D. Thesis, Doubrudzha Agricultural Institute, General Toshevo, Bulgaria (BG).
- Bokosi, J. M., Coyne, D. P., Steadman, J. R. & O'Keefe, D.** (1997). Bean rust from Malawi and South Africa: Pathogenic variation and sources of specific resistance. *Annu. Rep. of Bean Improv. Coop.*, 40, 440, 112-113.
- Christ, B.J. & Groth, J. V.** (1982). Inheritance of resistance in three cultivars of beans to the bean rust pathogen and the interaction of virulence and resistance genes. *Phytopathology*, 72, 771-773.
- Davidson, A. D., & Vaughan, E.K.** (1963). A simplified method for identification of races of *Uromyces phaseoli* var. *phaseoli*. *Phytopathology*, 53, 456-459.
- De Bary, A.** (1863). Recherches sur le développement de quelques champignons parasites. *Annales des Sciences Naturelles Botanique*, 20, 5-148.
- Finke, M. L., Coyne, D. P. & Steadman, J. R.** (1986). The inheritance and association of resistance to rust, common bacterial blight, plant habit and foliar abnormalities in *Phaseolus vulgaris* L. *Euphytica*, 35, 969-982.
- Fisher, H. H.** (1952). New physiologic races of bean rust (*Uromyces phaseoli* typical). *Plant. Dis. Rep.*, 36, 103-105.
- Genchev, D. & Kiryakov, I.** (2005). Dry bean in mountain regions in Bulgaria – present and future (Mini-Review),

- Res. Commun. of U.S.B. branch Dobrich* (Electronic version), 7, http://geocities.com/us_b_dobrich/ (Bg).
- Grafton, K. F., Weiser, G. C., Littlefield, L. J. & Staveland, R. J.** (1985). Inheritance of resistance to two races of leaf rust in dry edible bean. *Crop Science*, 25, 537-539.
- Gross, P. L. & Venette, J.R.** (2001). Overwinter survival of bean rust urediniospores in North Dakota. *Plant Disease*, 85, 226-227.
- Groth, J. V. & Mogen, B. D.** (1978). Completing the life cycle of *Uromyces phaseoli* var. *typica* on bean plants. *Phytopathology*, 68, 1674-1677.
- Groth, J. V. & Ozmon, E. A.** (2002). Nonrandom distribution of virulences within two field collections of *Uromyces appendiculatus*. *Phytopathology*, 92(7), 755-761.
- Harter, L. L., Andrus, C. F. & Zaumeyer, W. J.** (1935). Studies on the bean rust caused by *Uromyces phaseoli* typical. *J. Agric. Res.*, 50, 737-759.
- Harter, L. L., & Zaumeyer, W. J.** (1941). Differentiation of physiologic races of *Uromyces phaseoli* typical on bean. *J. Agric. Res.*, 62, 717-731.
- Hurtado-Gonzales, O., Gilio, T. A. S., & Pastor-Corrales, M. A.** (2017). Resistant reaction of Andean common bean landrace G19833, reference genome, to 13 races of *Uromyces appendiculatus* suggests broad spectrum rust resistance. *Annu. Rep. of Bean Improv. Coop.*, 60, 27-28.
- Imhoff, M. W., Main, C.E. & Leonard, K. J.** (1982). Effect of temperature, dew period and age of leaves, spores and source pustules on germination of bean rust urediniospores. *Phytopathology*, 71, 577-583.
- Jung, G., Coyne, D. P., Bokosi, J. M., Steadman, J. R. & Nienhuis, J.** (1998). Mapping genes for specific and adult plant resistance to rust and abaxial leaf pubescence and their genetic relationship using random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers in common bean. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 123, 859-863.
- Kelly, J. D., Gepts, P., Miklas, P. N., & Coyne, D. P.** (2003). Tagging and mapping of genes and QTL and molecular marker-assisted selection for traits of economic importance in bean and cowpea. *Field Crops Res.*, 82, 135-154.
- Kiryakov, I. & Genchev, D.** (2001). Physiological specialization of *Uromyces appendiculatus* (Pers.: Pers.) Unger in Bulgaria and sources of resistance. *Res. Commun. of U.S.B. branch Dobrich*, 3, 45-50 (Bg).
- Kiryakov, I. & Genchev, D.** (2003). Races of bean rust in Northeastern Bulgaria in 2002. *Res. Commun. of U.S.B. branch Dobrich*, 5(1), 72-76 (Bg).
- Kiryakov, I. & Genchev, D.** (2004). New sources of resistance to bean rust in the collection of Dobrudja Agricultural Institute, *Res. Commun. of U.S.B. branch Dobrich*, 6(1), 72-77 (Bg).
- Koleva, M., & Kiryakov, I.** (2020). Pathotype diversity of *Uromyces appendiculatus* in Northeastern Bulgaria. *Journal of Central European Agriculture*, In Press.
- Kovachevski, I.** (1930). *The diseases in common bean*. National Printing House, Sofia (Bg).
- Liebenberg, M. M., & Liebenberg, A. J.** (2000). Characterization of bean rust (*Uromyces appendiculatus*) isolates from Southern Africa. *Annu. Rep. of Bean Improv. Coop.*, 43, 80-81.
- Liebenberg, M. M., & Pretorius, Z. A.** (2004). Proposal for designation of a rust resistance gene in the large-seeded cultivar Kranskop. *Annu. Rep. of Bean Improv. Coop.*, 47, 255-256.
- Link, H. F.** (1816). Observaciones en ordines plantarum naturales. *Magazin der Gesellschaft Naturforschenden Freunde Berlin*, 8, 25-45.
- McMillan, M. T. Jr.** (1972). A new race of bean rust on pole beans in Florida. *Plant Dis. Rep.*, 56, 759-760.
- Miene, C. M. S., Liebenberg, M.M., Pretorius, Z.A. & Miklas, P.N.** (2005). SCAR markers linked to the common bean rust resistance gene Ur-13. *Theor. Appl. Genet.*, 111, 972-979.
- Miklas, P. N., Pastor-Corrales, M. A., Jung, G., Coyne, D. P., Kelly, J. D., McClean, P. E., & Gepts, P.** (2002). Comprehensive linkage map of bean rust resistance genes. *Annu. Rep. of Bean Improv. Coop.*, 45, 125-129.
- Miles, M. R. & Steadman, J. R.** (1982). Cluster analysis of bean rust (*Uromyces appendiculatus*) isolates collected in Nebraska and Colorado, 1979-1986. *Annu. Rep. of Bean Improv. Coop.*, 32, 128-129.
- Mmbaga, M. T., Steadman, J. R., & Eskridge, K. M.** (1996). Virulence patterns of *Uromyces appendiculatus* from different geographical areas and implications for finding durable resistance to rust of common bean. *J. Phytopathology*, 144, 533-541.
- Nees von Esenbeck, C. D. G.** (1817). *System der Pilze und Schwämme*. 1-334.
- Park, S. J., Coyne, D. P., Steadman, J. R. & Skroch, P. W.** (2003). Mapping of the Ur-7 gene for specific resistance to rust in common bean. *Crop Sci.*, 43, 1470-1476.
- Pastor-Corrales, M. A. & Aime, M.C.** (2004). Differential cultivars and molecular markers segregate isolates of *Uromyces appendiculatus* into two distinct groups that correspond to the gene pools of their common bean host. *Phytopathology*, 94, S82.
- Paucar, B., Murillo, A., Falconi, E., & Peralta, E.** (2006). Pathogenic variability of *Uromyces appendiculatus* in bean production areas in Northern Ecuador. *Ann. Rep. of Bean Improv. Coop.*, 49, 231-232.
- Persoon, C. H.** (1795). Observaciones mycologicae. *Annalen der Botanik (Usteri)*, 15, 1-39.
- Rudolph, K. & Baykal, N.** (1978). Diseases of bean (*Phaseolus vulgaris*) in south and west Turkey. *Annu. Rep. of Bean Improv. Coop.*, 21, 45-46.
- Sandlin, C. M., & Steadman, J. R.** (1994). Characterization of pathotypes of the bean rust fungus which overcome adult plant resistance. *Annu. Rep. of Bean Improv. Coop.*, 37, 63-64.
- Sandlin, C. M., Salgado, M., & Steadman, J. R.** (1995). Pathotypes of *Uromyces appendiculatus* from Northern Argentina. *Annu. Rep. of Bean Improv. Coop.*, 38, 143-144.

- Sandlin, C. M., Steadman, J. R., & Araya, C.M.** (1999). Isolates of *Uromyces appendiculatus* with specific virulence to landraces of *Phaseolus vulgaris* of Andean origin. *Plant Disease*, 83, 108-113.
- Schwartz, H. F. & Gent, D. H.** (2004). Disease forecast modeling of *Uromyces appendiculatus* in the High Plains bean production region. *Annu. Rep. of Bean Improv. Coop.*, 47, 109-110.
- Souza, T. L. P. O., Ragagnin, V. A., Sanglard, D. A., Moreira, M. A., & Barros, E. G.** (2007). Identification of races of selected isolates of *Uromyces appendiculatus* from Minas Gerais (Brazil) based of the new International classification system. *Fitopatol. Bras.*, 32(2), 104-109.
- Souza, T. L. P. O., Dessaune, S. N., Sanglard, D. A., Moreira, M. A. & de Barros, E. G.** (2011). Characterization of the rust resistance gene present in the common bean cultivar Ouro Negro, the main rust resistance source used in Brazil. *Plant Pathology*, 5, 839-845.
- Stavely, J. R.** (1983). A rapid technique for inoculation of *Phaseolus vulgaris* with multiple pathotypes of *Uromyces phaseoli*. *Phytopathology*, 73, 676-679.
- Stavely J. R.** (1991). *Compendium of Bean Diseases*. Ed. R. Hall, APS Press, USA, 24-25.
- Stavely, J. R.** (1983). A rapid technique for inoculation of *Phaseolus vulgaris* with multiple pathotypes of *Uromyces phaseoli*. *Phytopathology*, 73, 676-679.
- Stavely, J. R., Freytag, G. F., Steadman, J. R., & Schwartz, H. F.** (1983). The 1983 Bean Rust Workshop. *Annu. Rep. of Bean Improv. Coop.*, 26, iv:vi.
- Stavely, J. R.** (1984). Pathogenic specialization in *Uromyces appendiculatus* in the United States and rust resistance in beans. *Plant Disease*, 68, 95-99.
- Stavely, J. R.** (1985). The modified Cobb scale for estimating bean rust intensity. *Annu. Rep. of Bean Improv. Coop.*, 28, 31-32.
- Stavely, J. R. & Pastor-Corrales, M. A.** (1989). Rust. in: *Bean production problems in the tropics*. H.F. Schwartz and M.A. Pastor-Corrales, eds. CIAT, Cali, Colombia, 159-194.
- Stavely, J. R.** (1999). Pathogenic variability in *Uromyces appendiculatus* from Central Africa. *Annu. Rep. of Bean Improv. Coop.*, 42, 37-38.
- Stavely, J. R.** (2000). Pyramiding rust and viral resistance genes using traditional and marker techniques in common bean. *Annu. Rep. of Bean Improvement Coop.*, 43, 1-4.
- Steadman, J. R., Pastor-Corrales, M. A., & Beaver, J. S.** (2002). An overview of the 3rd bean rust and 2nd bean common bacterial blight international workshops, Pietermaritzburg, South Africa, march 4-8, 2002. *Annu. Rep. Bean Improv. Coop.*, 45, 120-124.
- Su, W., Dongxin, F., Baodong, L., & Zhaosheng, X.** (1998). The identification of rust resistance in Chinese snap bean germplasm resources. *Annu. Rep. Bean Improv. Coop.*, 41, 179-180.
- Valentini, G., Gonçalves-Vidigal, M. C., Cregan, P. B., Song, Q., & Pastor-Corrales, M. A.** (2017). Simple sequence repeat DNA markers linked with genes for resistance to major diseases of common bean. *Annu. Rep. Bean Improv. Coop.*, 60, 29-30.
- Webster, D. M. N., & Ainsworth, P. M.** (1988). Inheritance and stability of a small pustule reaction of snap beans to *Uromyces appendiculatus*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 113, 938-940.
- Winter, G. (1881)**. Rabenhorst's Kryptogamen-Flora, Pilze- Schizomyceten, Saccharomyceten und Basidiomyceten. 1(1), 81-352.