

Източници на устойчивост при образци обикновен фасул към набор от раси на *Uromyces appendiculatus*

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 със спорадичен характер за северните части на България, но се среща ежегодно в района на Родопите. Използването на устойчиви сортове е икономически най-изгодният и екологосъобразен метод за борба с болестта. От първостепенно значение при създаването на такива сортове е намиране на източници на устойчивост към разпространените раси на патогена. Целта на настоящото изследване е установяване на източници на устойчивост сред 34 образци фасул към шест патотипа на раси 20-0, 20-3, 20-19, 29-0, 29-1 и 52-3 на *U. appendiculatus*. Четири от проучваните образци (51051, CSW 643, NEP 2 и KW 814) са устойчиви на използваните патотипи и могат да бъдат използвани като донори на устойчивост към ръждата по фасул. Два образца показват устойчив фенотип към пет от патотипите, четири са устойчиви на четири патотипа и шест образци показват устойчива реакция към три от патотипите на *U. appendiculatus*. Четири от образците (VAX 4, VAX 6, DG 2-36-58-3, Dresden) притежават комплексна устойчивост към икономически най-значимите заболявания при обикновения фасул и могат да бъдат включени в селекционна програма насочена към създаване на сортове фасул с комплексна устойчивост.

Ключови думи: обикновен фасул, ръжда, *P. vulgaris*, *U. appendiculatus*, устойчивост

Sources of resistance in common bean accessions to a set of races of *Uromyces appendiculatus*

Magdalena Koleva^{1*}, Ivan Kiryakov²

¹ Konstantin Preslavski University of Shumen, College Dobrich

² Dobrudzha Agricultural Institute, 9520 General Toshevo

Corresponding author*: m.koleva@shu.bg

Citation: Kiryakov, I., & Koleva, M. (2021). Sources of resistance in common bean accessions to a set of races of *Uromyces appendiculatus*, *Bulgarian Journal of Soil Science Agrochemistry and Ecology*, 55(1), 37-45.

Abstract

Common bean rust is a sporadic disease in the northern parts of Bulgaria, but occurs annually in The Rhodope Mountains. The use of resistant varieties is the most cost-effective and environmentally friendly method of disease control. Finding sources of resistance to the distributed races of the pathogen is of paramount importance in breeding of such varieties. The aim of the present study was to establish sources of resistance among 34 bean accessions to six pathotypes of races 20-0, 20-3, 20-19, 29-0, 29-1 and 52-3 of *U. appendiculatus*. Four of the accessions (51051, CSW 643, NEP 2 and KW 814) are resistant to the pathotypes used and can be used as donors of bean rust resistance. Two samples showed a resistant phenotype to five of the pathotypes, four were resistant to four pathotypes, and six accessions showed resistant reaction to three of the *U. appendiculatus* pathotypes. Four of the accessions (VAX 4, VAX 6, DG 2-36-58-3, Dresden) have complex resistance to the most economically significant diseases in common beans and can be included in a breeding program aimed at creating varieties of beans with complex resistance.

Key words: common bean, rust, *P. vulgaris*, *U. appendiculatus*, resistance

Въведение

Ръждата по фасул е заболяване с икономическо значение за много райони по света (Liebenberg & Pretorius, 2010). При благоприятни условия за развитие, може да причини загуба в добивите при обикновения фасул от 25 до 100% (Stavely & Pastor-Corrales, 1989). За северните части на България, болестта има спорадичен характер, но се среща ежегодно в района на Родопите и за тази част на страната е от икономическо значение (Kiryakov & Genchev, 2001; 2003a; 2004; Beleva, 2010). Болестта се причинява от макроцикличната, автоецидна, фитопатогенна гъба *Uromyces appendiculatus* (Pers.: Pers.) Unger. (Harter & Zaumeyer, 1941; Stavely & Pastor-Corrales, 1989). В България патогенът завършва пълен цикъл на развитие и зимува като телиоспори в района на Родопите, а се разпространява чрез уредоспори в други части на страната (Beleva, 2010). До момента, на база вирулентния фенотип на диференциращия ключ за ръждата по фасул, приет през 2002 г. (Steadman et al., 2002), в страната е установено разпространението на 106 патопита, отнесени към 11 раси на *U. appendiculatus* (20-0, 20-1, 20-2, 20-3, 20-19, 29-0, 29-1, 52-3, 28-1, 20-16, 20-18) (Kiryakov & Genchev, 2004; Beleva, 2010; Koleva & Kiryakov, 2020).

Използването на устойчиви сортове е икономически най-изгодният и екологосъобразен метод за борба с ръждата по фасул (Stavely & Pastor-Corrales, 1989; Avcedo et al., 2013). Създаването на такива сортове е трудна задача, която изисква познания относно генетичния характер на устойчивостта и вирулентното разнообразие на патогена, както и намиране на източници на устойчивост към разпространените раси (Stavely & Pastor-Corrales, 1989; Mmbaga et al., 1996; Sillero et al., 2006).

Устойчивостта на *P. vulgaris* към *U. appendiculatus* има моногенен характер и следва принципите заложи в теорията “ген за ген” (Stavely, 2000; Rasmussen et al., 2002). В повечето случаи тя има доминантен характер и се контролира от един расово-специфичен ген (Grafton et al., 1985; Stavely & Pastor-Corrales, 1989; Pastor-Corrales, 2005; Beleva et al., 2009a), но в някои проучвания е установен контрол от един рецесивен ген (Zaiter et al., 1989), два гена с епистатно действие (Finke et al., 1986), два комплементарни доминантни гена (Grafton et al., 1985; Gonzales-Garcia & Grafton, 1996), два независими гена (Grafton et al., 1985) или тясно скачени гени или генен блок (Park et al., 1999). До момента са идентифицирани 15 расово-специфични гени в генетичната листа на *P. vulgaris*, отбелязани съответно от Ur-1 до

Ur-14 (Bean Improvement Cooperative, 2018). Целта на настоящото изследване е установяване на източници на устойчивост в образци *P. vulgaris* към шест от установените в страната раси на *U. appendiculatus* за включването им в селекционна програма насочена към създаване на високо продуктивни сортове фасул с комплексна устойчивост към икономически най-важните заболявания при тази култура.

Материали и методи

Изследванията са проведени в периода 2017-2018 г. в Добруджански земеделски институт, гр. Генерал Тошево.

Използвани са шест патотипа на раси: 20-0, 20-3, 20-19, 29-0, 29-1, 53-3, разпространени в Северна България и Родопите и идентифицирани от Beleva (2010). Патотиповете са съхранявани в стъклени ампули със силикагел при -18°C . За получаване на свежа спорова маса и достатъчно количество инокулум е използван чувствителният сорт Добруджански 7, засят в пластмасови саксии с вместимост 11 и отглеждан при $20-25^{\circ}\text{C}$ дневна и $16-18^{\circ}\text{C}$ нощна температура. Във фенофаза несъщински лист растенията са инокулирани посредством намазване на листата с четка за рисуване със спорова суспензия (2×10^4 spores/ml) и поставяни във влажна камера за 18 часа (20°C , влажност $>95\%$), след което са отглеждани при вече описаните условия (Stavely, 1983).

Тридесет и четири български и чуждестранни сортове и линии фасул са засяти в пластмасови терини с размер $45 \times 30 \times 8$ cm. Образците са инокулирани във фаза несъщински лист чрез опръскване с пулверизатор. Условиата по инокулиране, инкубиране и отглеждане са вече описани. Реакцията на образците е отчетена като тип на инфекция (ТИ) 14 дни след инокулация по шест степенна скала (Stavely et al., 1983; Beleva, 2010) (таблица 1). Типът на инфекция е отчетен по двете листни повърхности, като при наличие на повече от един ТИ, те се записват в зависимост от честотата на тяхното срещане в низходящ ред.

Резултати и обсъждане

Пет от проучваните сортове и линии показват имунна реакция, 16 свръхчувствителна, четири устойчива, а останалите 39 чувствителна реакция към изпозвания патотип на раса 20-0. Тази раса преодолява расово-специфичния ген Ur-6 (сорт Golden Gate Wax) и неидентифицирания ген в диференциращия сорт Montcalm (таблица 2).

Имунни към включения в изследването патотип на раса 20-3 са 10 образци, свръхчувствителни са 24, устойчиви са 4, а чувствителни са 26 образци. Тази раса преодолява вече описаните гени при раса 20-0, плюс гени Ur-7 (GN 1140) и Ur-3 (Aurora) (таблица 2).

Към патотипа на раса 20-19 имунен фенотип показват 45 образци фасул, свръхчувствителен фенотип 12, устойчив два, а чувствителен фенотип четири образци. Тази раса преодолява вече описаните при раса 20-3 расово-специфични гени плюс ген Ur-CNC в диференциращия сорт Compuesto Negro Chimaltenango (таблица 2). Дванадесет от проучваните образци показват имунна реакция, един образец свръхчувствителна, 14 устойчива, а останалите 33 чувствителна реакция към патотипа на раса 29-0, който преодолява гени Ur-6, Ur-4 (Early Gallatin), Ur-9 (Pompadour Chesa 50) (таблица 2).

Имунни към патотипа на раса 29-1 са четири образци, свръхчувствителни са седем, устойчиви са пет, а останалите 51 са чувствителни. Раса 29-1 преодолява същите гени като раса 29-0 плюс Ur-7 (GN 1140) (таблица 2).

Към патотипа на раса 52-3 имунни са 10 от проучваните сортове и линии фасул, свръхчувствителни са 13, устойчиви са три и чувствителни са 51. Тази раса преодолява расово-специфичните гени, които преодолява раса 20-3 плюс неидентифицираният ген в диференциращия сорт PI 260418 (таблица 2).

Шест от проучваните образци показват сходен фенотип към включените в изследването патотипове на *U. appendiculatus*. От тях, Добруджански ран и Pinto 650 са чувствителни, 51051 е имунен, а CSW 643, NEP 2 и KW

814 реагират с имунна, свръхчувствителна или устойчива реакция (таблица 2). Тези сортове, без Добруджански ран, са включени в диференциращия ключ за ръжда по фасула приет през 1983 и действащ до 2002 г. (Stavely et al., 1983; Steadman et al., 2002). Сортове NEP 2 и 51051 са носители на расово-специфичния ген Ur-3, също като диференциращия сорт Augora, но често тези два сорта реагират със смесен тип на инфекция, поради което генът се отбелязва като Ur-3+ (Miklas et al., 2002; Pastor-Corrales, 2002). В настоящото изследване сортове 51051 и NEP 2 показват имунна реакция към включените патотипи на раси 20-3, 20-19 и 52-3, които преодоляват расово-специфичния ген Ur-3 (таблица 2). Тези резултати потвърждава становището на Miklas et al. (2002) и Pastor-Corrales (2002) за наличие на допълнителен расово-специфичен ген за устойчивост при тези образци. Нещо повече, 51051 показва имунна реакция към включените в изследването патотипи на раси 29-0 и 29-1, а NEP 2 свръхчувствителна, което показва различен генетичен контрол на устойчивостта при тези два сорта.

Устойчив фенотип (имунен/свръхчувствителен/устойчив) към пет от проучваните раси показват Сандански 5 и Бело поле 1 (таблица 2). И двата образца имат чувствителен фенотип след инокулация с раса 29-1.

Четири образци са устойчиви към четири от проучваните раси: Texas navy (20-0, 20-3, 20-19, 29-0), Brown Beauty (20-0, 20-3, 20-19, 52-3), Olathe (20-3, 20-19, 29-0, 52-3) и Лозеница 10 (20-0, 20-3, 20-19, 52-3) (таблица 2). Brown Beauty и Olathe също са включени в диференциращия ключ за ръжда по фасула приет през 1983 г. (Stavely et al., 1983). Brown Beauty носи расово-специфичния ген за устойчивост Ur-4 (Stavely et al., 1983) и съвсем очаквано показва чувствителна реакция към раси 29-0 и 29-1, които са вирулентни към него. Olathe притежава расово-специфичния ген Ur-6+, открит и описан като Ur-G от Ballantyne (1978). В настоящото изследване сортът е чувствителен към патотиповете на раси 20-0 и 29-1 (таблица 2).

Устойчиви към три от проучваните шест патотипове на *U. appendiculatus* са десет образци. ИИРР 7585, Хърсово 5 и Tendergreen са устойчиви на раси 20-3, 20-19 и 52-3, Laker, VAX 4 и VAX 6 на 20-19, 29-0 и 29-1, а при останалите четири образци устойчивостта е към различна комбинация от раси. При полски условия през 2007-2008 г. сортове VAX 4 и VAX 6 показват расово-неспецифична устойчивост, изразена като ниска степен на нападение (1-5%) и устойчив (ТИ-3) до чувствителен (ТИ-4) фенотип (Beleva et al., 2009b). Устойчивия фенотип (ТИ-3) и при двата сорта през 2007 г. дава основание на Beleva et al. (2009b) да предположат, че сортовете имат и расова-специфичност. Получените в настоящото изследване резултати потвърждават тази хипотеза. Важно е да се отбележи, че тези сортове показват висока устойчивост към 10 от най-вирулентните щамове на *Xanthomonas axonopodis pv phaseoli* Smith в България (Kiryakov & Genchev, 2003b). Повечето от установените QTL за устойчивост към бактериен пригор са локализирани в скачени групи B1, B4, B6, B7, B8 и B11 от интегрираната генна карта на фасула, към които са отнесени и маркираните до този момент расово-специфични гени за ръждата (Bean Improvement Cooperative, 2018). Това дава основание на Beleva et al. (2009b) да предположат, че наблюдаваната частична устойчивост при VAX 4 и VAX 6 може да се контролира от QTL или гени скачени или идентични с факторите определящи устойчивостта им към бактериен пригор.

Сорт KW 780 също като Brown Beauty притежава расово-специфичен ген за устойчивост Ur-4 (Stavely et al., 1983). Сортът показва чувствителен фенотип към патотиповете на раси 29-0, 29-1 и 52-3, но раса 52-3 не преодолява Ur-4 в диференциращия сорт Early Gallatin. Сходни резултати са наблюдавани от Mmbaga and Stavely (1988) и Stavely et al. (1989). Според авторите сортът притежава и друг ген за устойчивост, вероятно тясно скачен с Ur-4.

Устойчивост към две от включените в изследването раси показват пет образци. Вирулентния фенотип на DG 2-36-58-3 към

използваните раси в настоящото изследване напълно съвпада със съобщения от Genchev et al. (2010). Според авторите линията е устойчива и към раса 20-1 на *U. appendiculatus*. DG 2-36-58-3 притежава расово-специфични гени Co1 и Co4 осигуряващи устойчивост към всички установени до момента раси на *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. & Magn.) Bri. & Cav. в България (2, 3, 6, 22, 23, 54, 73, 79, 81 и 130), както и към 74 от 78 установени в различни части на света (Genchev et al., 2010). Drezden е устойчив на 29-0 и 29-1 (таблица 2) и притежава расово-специфичен гени Co2, осигуряващ защита срещу раси 2, 6, 22, 54, 81 на *C. lindemuthianum* (Park et al., 1987; Genchev et al., 2010). Линията DG 2-36-58-3 и Drezden притежават устойчивост към бактериено увяхване (*Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* (Hedges) Collins & Jones) и устойчивост на листа към *Pseudomonas savastanoi* pv. *phaseolicola* (Burkh.) Gardan et al. и могат успешно да се използва като донори на комплексна устойчивост към икономически най-значимите болести по фасул в страната (Genchev et al., 2010).

Седем от проучваните образци са устойчиви единствено към раса 20-19, а към останалите са чувствителни (таблица 2).

Според Pastor-Corrales & Stavely (2002) използването на набор от раси на *U. appendiculatus* дава възможност за идентифициране на расово-специфични гени в селекционни материали обикновен фасул. Използвайки раси 47, 53, 67 и 49, авторите установяват наличието на гени Ur-6, Ur-3, Ur-11, както и комбинацията между гени Ur-4 и Ur-11 в проучваните сортове. Включените в настоящото изследване раси 20-0, 20-3, 20-19, 29-0, 29-1 и 52-3 са вирулентни към расово-специфични гени Ur-3, Ur-4, Ur-6,

Ur-7, Ur-CNC, както и неидентифицираните гени в диференциращите сортове PI 260418 и Montcalm, като всички раси са вирулентни към Ur-4 и генът в Montcalm (таблица 2). Устойчивата реакция на образци 51051, CSW 643, NEP 2 и KW 814 показва, че устойчивостта им се дължи на гени или комбинация от гени различни от посочените. Линията Лозеница 10 показва чувствителен фенотип към раси 29-0 и 29-1, които са вирулентни към гени Ur-4, Ur-6, Ur-9 и генът в Montcalm, а 29-1 и към Ur-7 (таблица 2). Реакцията на образеца към останалите раси, които преодоляват Ur-6, Ur-7 и генът в Montcalm е устойчива. Това ни дава основание да предположим, че устойчивостта на Лозеница 10 се дължи на самостоятелното или комбинирано действие на Ur-4 и Ur-9. При използваният набор от раси е възможно идентифицирането на Ur-7 при чувствителна реакция към 20-3, 20-19, 29-1, 52-3 и устойчива към останалите, на Ur-3 при чувствителна реакция към 20-3, 20-19, 52-3, на Ur-CNC при чувствителна реакция към 20-19 и на генът при диференциращия сорт PI 260418 при чувствителна реакция към 52-3, но за съжаление при нито един от проучваните образци не се наблюдава такава комбинация от чувствителен/устойчив фенотип. Получените от нас резултати ни дават основание да заключим, че използваният набор от раси не е достатъчно представителен за успешното използване на методът на Pastor-Corrales & Stavely (2002) за идентифициране на расово-специфични гени в образци обикновен фасул към *U. appendiculatus*. Освен това трябва да се отбележи, че чрез този метод могат да се идентифицират само расово-специфични гени, които са представени в сортовете включени в диференциращия ключ.

Таблица 1. Скала за отчитане типът на инфекция на листата при инокулиране с *U. appendiculatus* (Stavely et al., 1983)

Table 1. Scale for estimation infection type of leaves after inoculation with *U. appendiculatus* (Stavely et al., 1983)










Тип на инфекция/ Infection type	Размер на сорите/ Size of pustules	Реакция/ Reaction	Реакция/ Reaction
1	Няма симптоми/ No symptoms	Имунна/ Immune (I)	
2	Некротични петна без спорулация Necrotic spots without sporulation	Свръх чувствителна/ Hyper sensitive (HR)	
2+	петна до 0.3 mm диаметър spots up to 0.3 mm in diameter		
2++	петна от 0.3 mm до 1.0 mm диаметър spots from 0.3 to 1.0 mm in diameter		
2+++	петна над 3.0 mm диаметър spots over 3.0 in diameter		
3	уредосори до 0.3 mm диаметър pustules up to 0.3 in diameter	Устойчива / Resistant (R)	
4	уредосори от 0,3 mm до 0,5 mm диаметър pustules from 0.3 mm to 0.5 mm in diameter	Чувствителна / Susceptible (S)	
5	уредосори от 0.5 mm до 0.8 mm диаметър pustules from 0.5 mm to 0.8 mm in diameter	Чувствителна / Susceptible (S)	
6	уредосори над 0.8 mm диаметър pustules over 0.8 mm in diameter	Чувствителна / Susceptible (S)	

Таблица 2. Реакция на 34 образци *P. vulgaris* към раси 20-0, 20-3, 20-19, 29-0, 29-1 52-3 на *U. appendiculatus*

Table 2. Reaction of 34 *P. vulgaris* accessions to races 20-0, 20-3, 20-19, 29-0, 29-1 52-3 of *U. Appendiculatus*

№	Образец/ Accession	20-0 Ur-6	20-3 Ur-6,7,3	20-19 Ur-6- ,7,3,CNC	29-0 Ur-4,9,6	29-1 Ur-4- ,9,6,7	52-3 Ur-6- ,7,3,PI
1	ИИРР 7585 / IIRR 7585	S*	I	I	S	S	HR
2	Кресна 25 / Kresna 25	S	HR	HR	I	S	S
3	Сандански 5 / Sandanski 5	HR	I	HR	I	S	I
4	Хърсово 5 / Harsovo 5	S	I	I	S	S	HR
5	Бело поле 1 / Belo pole 1	HR	HR	HR	I	S	HR
6	Лозеница 10 / Lozenitsa 10	HR	HR	I	S	S	I
7	DG 98-73-6	S	S	I	S	S	S
8	DG 2-36-58-3	S	HR	I	S	S	S
9	DG 1-59-83-3-5	S	S	I	S	S	S
10	DG 1-59-83-3-1	S	S	I	S	S	S
11	Кресна 23 / Kresna 23	S	S	I	S	S	S
12	Райкин 2 / Raykin 2	S	S	I	S	S	S
13	Добруджански ран / Dobrudzhanski ran	S	S	S	S	S	S
14	Laker	S	S	I	R	I	S
15	VAX 6	S	S	I	R	R	S
16	Тракийски / Trakiyski	S	HR	I	S	S	HR
17	Хитово 1 / Hitovo 1	S	S	I	I	S	S
18	ГФ 15-4	S	S	I	S	S	S
19	Tendergreen	S	HR	HR	S	S	HR
20	A 475	S	S	I	S	S	I
21	Texas navy	HR	I	I	I	S	S
22	VAX 4	S	S	R	R	I	S
23	BAC 6	S	I	I	R	S	S
24	DRK 139	S	S	I	S	S	S
25	CSW 643	HR	I	I	I	I	I
26	Pinto 650	S	S	S	S	S	S
27	KW 765	S	R	R	S	R	S
28	KW 780 (Ur-4**)	R	HR	I	S	S	S
29	KW 814	HR	R	I	R	R	I
30	Brown Beauty (Ur-4)	R	HR	I	S	S	I
31	Olathe (Ur-6+)	S	HR	I	R	S	R
32	NEP 2 (Ur-3+)	I	I	I	HR	HR	I
33	51051 (Ur-3+)	I	I	I	I	I	I
34	Dresden	S	S	S	R	R	S

*I – имунна реакция, HR – свръхчувствителна реакция, R – устойчива реакция, S – чувствителна реакция;

*I – immune reaction, HR – hypersensitive reaction, R – resistant reaction, S – susceptible reaction;

** - расово специфичен ген;

** - race-specific gene

Заклучение

Четири от проучваните 34 образци *P. vulgaris* (51051, CSW 643, NEP 2 и KW 814) са устойчиви на използваните патотипи на раси 20-0, 20-3, 20-19, 29-0, 29-1, 52-3 на *U. appendiculatus* и могат да бъдат използвани като донори на устойчивост към ръждата по фасул. Два образца показват устойчив фенотип към пет от патотипите, четири са устойчиви на четири патотипа и шест образци показват устойчива реакция към три от патотипите на *U. appendiculatus*.

Четири от образците (VAX 4, VAX 6, DG 2-36-58-3, Drezden) притежават комплексна устойчивост към бактериен и ореолов пригор, бактериен изсъхване, антракноза и две/три от проучваните раси на *U. appendiculatus*. Тези образци успешно могат да бъдат включени в селекционна програма насочена към създаване на сортове фасул с комплексна устойчивост към икономически най-значимите заболявания при тази култура.

Литература

Avecedo, M., Steadman, J. R., & Rosas, J. C. (2013) *Uromyces appendiculatus* in Honduras: Pathogen diversity and host resistance screening. *Plant Disease*, 97(5), 652-661. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-12-0169-RE>.

Ballantyne, B. J. (1978). The genetic bases of resistance to rust, caused by *Uromyces appendiculatus* in bean (*Phaseolus vulgaris*). PhD. Thesis, Univ. Sydney, Australia, 262 pp.

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., Kiryakov, I., & Genchev, D. (2009b). Sources of partial resistance to common bean rust (*Uromyces appendiculatus*) from the core collection of Dobrudzha Agricultural Institute. *Field Crop Studies*, 5(1), 163-172.

Beleva, M. (2010). Investigations on common bean rust in Bulgaria. PhD Thesis, Dobrudzha Agricultural Institute, General Toshevo, Bulgaria (Bg).

Beleva, M., Genchev, D., & Kiryakov, I. (2009a). Genetic control of resistance to *Uromyces appendiculatus* in Bulgarian common bean cultivar 'Beslet'. *Genetics and Breeding*, 38(3-4), 97-101.

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.

Genchev, D., Christova, P., Kiryakov, I., Beleva, M., & Batchvarova, R. (2010). Breeding of Common Bean for Resistance to the Physiological Races of Anthracnose Identified in Bulgaria. *Biotechnology and Biotechnology Equipment*, 24, 1814-1823.

Gonzales-Garcia, V. F., & Grafton, K. F. (1996). Inheritance of resistance in common bean of diverse origin. *Annu. Rep. of Bean Improv. Coop.*, 39, 174-175.

Grafton, K. F., Weiser, G. C., Littlefield, L. J., & Stavely, R. J. (1985). Inheritance of resistance to two races of leaf rust in dry edible bean. *Crop Science*, 25, 537-539.

Harter, L. L., & Zaumeyer, W. J. (1941). Differentiation of physiologic races of *Uromyces phaseoli* typical on bean. *J. Agric. Res.*, 62, 717-731.

Kiryakov, I. & Genchev, D. (2001). Physiologic 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. (2003a). 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 Dobrudzha Agricultural Institute. *Res. Commun. of U.S.B. branch Dobrich*, 6(1), 72-77 (Bg).

Kiryakov, I., & Genchev, D. (2003b). Leaf and pod reaction of VAX lines to Bulgarian *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* strains. *Annu. Rep. of Bean Improv. Coop.*, 46, 197-198.

Koleva, M., & Kiryakov, I. (2020). Pathotype diversity of *Uromyces appendiculatus* in Northeastern Bulgaria. *Journal of Central European Agriculture*, 21(4), 789-795. DOI: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/21.4.2698>

Liebenberg, M. M., & Pretorius, Z. A. (2010) Common Bean Rust: Pathology and Control. *Horticultural Reviews*, 37, 1-99.

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.

Mmbaga, M. T. & Stavely, J. R. (1988). Pathogenic variability in *Uromyces appendiculatus* from Tanzania and rust resistance in Tanzanian bean cultivars. *Plant Disease*, 72, 259-262.

Mmbaga, M. T., Steadman, J. R., & Stavely, J. R. (1996). The use of host resistance in disease management of rust in common bean. *Integrated Pest Management Reviews*, 1, 191-200.

Park, S. J., Tu, J. C. & Aylesworth, J. W. (1987) Dresden field bean. *Can. J. Plant Sci.*, 67, 821-822.

Park, S. P., Coyne, D. P., Bokosi, J. M., & Steadman, J. R. (1999). Molecular markers linked to genes for specific resistance and indeterminate growth habit in common bean. *Euphytica*, 150, 133-141.

- Pastor-Corrales, M. A. & Stavely, J. R.** (2002). Using specific races of the common bean rust pathogen to detect resistance genes in *Phaseolus vulgaris*. *Annu. Rep. of Bean Improv. Coop.*, 45, 78-79.
- Pastor-Corrales, M. A.** (2002). Apparent vulnerability of certain of rustresistance gene combination in common bean for the management of *Uromyces appendiculatus*. *Annu. Rep. Bean Improv. Coop.*, 45, 42-43.
- Pastor-Corrales, M. A.** (2005). Inheritance of resistance in PI 260418 an Andean bean resistant to most races of bean rust pathogen. *Ann. Rep. Of Bean Improv. Coop.*, 48, 134-135.
- Rasmussen, J. B., Grafton, K. F., Gross, P. L., & Donohue, C. M.** (2002). Genetics of resistance in Compuesto Negro Chimaltenango (CNC). *Annu. Rep. of Bean Improv. Coop.*, 45, 94-95.
- Sillero, J. C., Fondevilla, S., Davidson, J., Vaz Patto, M. C., Warkentin, T. D., Thomas, J., & Rubiales, D.** (2006). Screening techniques and sources of resistance to rusts and mildews in grain legumes. *Euphytica*, 147, 255-272.
- 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.** (1983). A rapid technique for inoculation of *Phaseolus vulgaris* with multiple pathotypes of *Uromyces phaseoli*. *Phytopathology*, 73, 676-679.
- 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.
- 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., Steadman, J. R. & McMillan, R. T.** (1989). New pathogenic variability in *Uromyces appendiculatus* in North America. *Plant Disease*, 73, 428-432.
- 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.
- Zaiter, H. Z., Coyne, D. P., & Steadman, J. R.** (1989). Inheritance of resistance to a rust isolate in beans. *Annu. Rep. Bean Improv. Coop.*, 32, 126-127.