

<https://doi.org/10.61308/LIJD6199>

Устойчивост на образци и линии обикновена пшеница към шест раси на *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*

Йорданка Станоева*, Галина Михова

Добруджански земеделски институт – Генерал Тошево, Селскостопанска академия – София, България

*E-mail: y_zdravkova@abv.bg

Йорданка Станоева ORCID: 0000-0002-6554-5592

Резюме: Брашнеста мана, с причинител *Blumeria graminis* f.sp. *tritici* (Bgt), е една от най-вредните болести по пшеницата във всички райони, където се отглежда и може да доведе до сериозни загуби на добива. *Blumeria gr. f. sp. tritici* е облигатен и специфичен за гостоприемника гъбен патоген, който напада всички надземни органи на растението. Проучена е устойчивостта на 41 селекционни линии и 30 образци обикновена пшеница към шест раси на *Bl. gr. f. sp. tritici* с различна вирулентност. Данните от изследването показват, че от проучените 71 селекционни материали, 46 са чувствителни към всичките шест раси на патогена. Двадесет и пет селекционни материали показват устойчивост към една или повече раси. Линия „10/131-55-56“ се отличава с устойчива реакция към всичките шест раси включени в изследването, а линиите „14/53-1“ и „14/53-10“ имат устойчива реакция към пет от расите на патогена. Осем от изпитаните материали (Santorin, 18/10-11, 18/87-61, 14/52-92, 14/52-104, 14/15-42, 14/52-43 и 14/53-75) имат същия тип на реакция, както диференциращите сортове Asosan/8хСс и Kharpli, които съдържат съответно гените *Pm 3a* и *Pm 4a*. Реакцията на линиите DH 974/8-2-30, DH 995-100, (09)232-65 GT 9-232 и сортовете Alkantra 19, Chudomira и Kasidy е като тази на диференциращите сортове Disponent с резистентен ген *Pm 8* и Weihenstephen M1 с ген *Pm 4b*. Сортовете „Gabrio 21“, „Forkali“ и „08/147-32 (Zara GT 8-14)“ имат тип на реакция, който не съответства на никой от известните гени включени в изследването.

Ключови думи: *Bl. graminis* f. sp. *Tritici*; брашнеста мана; *Pm* гени; устойчивост; раса

Resistance of common wheat samples and lines to six races of *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*

Yordanka Stanoeva*, Galina Mihova

Dobroudzha Agriculture Institute – General Toshevo, Agricultural Academy – Sofia, Bulgaria

*E-mail: y_zdravkova@abv.bg

Yordanka Stanoeva ORCID: 0000-0002-6554-5592

Citation: Stanoeva, Yo., & Mihova, G. (2025). Resistance of common wheat samples and lines to six races of *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*. *Bulgarian Journal of Crop Science*, 62(5) 3-10 (Bg).

Abstract: Powdery mildew, caused by *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* (Bgt), is one of the most demaging diseases of wheat in all regions where it is grown and can lead to serious yield losses. *Blumeria gr. f. sp. tritici* is an obligate and host-specific fungal pathogen that attacks all aerial parts of the plant. Inoculation of plants with each of the races was carried out at the “second leaf” stage. The type of infection was reported after 8-10 days. Data from the study showed that of the 71 breeding materials studied, 46 were susceptible to all six races of the pathogen. Twenty-five breeding materials showed resistance to one or more races. Line “10/131-55-56” is distinguished by a resistant reaction to all six races included in the study, and lines “14/53-1” and “14/53-10” have a resistant reaction to five of the races of the pathogen. Eight of the materials tested (Santorin, 18/10-11, 18/87-61, 14/52-92, 14/52-104, 14/15-42, 14/52-43 and 14/53-75) have the same reaction type as the differentiating cultivars

Asosan/8xCc and Khapli, which contain the *Pm 3a* and *Pm 4a* genes, respectively. The reaction of lines DH 974/8-2-30, DH 995-100, (09)232-65 GT 9-232 and varieties Alkantra 19, Chudomira and Kasidy is like that of differentiating varieties Disponent with resistance gene *Pm 8* and Weihenstephen M1 with the *Pm 4b* gene. The cultivars “Gabrio 21”, “Forkali” and “08/147-32 (Zara GT 8-14)” have a response type that does not correspond to any of the known genes included in the study.

Keywords: *Bl. gr. f. sp. tritici*; powdery mildew; *Pm* genes; resistance; race

ВЪВЕДЕНИЕ

Брашнеста мана, с причинител *Blumeria graminis* f.sp. *tritici*, е едно от най-вредоносните заболявания по пшеницата във всички райони на отглеждане и може да предизвика сериозни загуби на добива (Everts and Leath, 1992; Ullah et al., 2018). *Blumeria gr. f. sp. tritici* е облигатен и специфичен за гостоприемника гъбен патоген, който напада всички надземни органи на растението. Болестта намалява фотосинтезата, увеличава дишането, намалява растежа на корените и възпрепятства наливането на зърното в силно заразените класове (Sabri et al., 1997; Akhkha et al., 2003). Също така, епидемиите от брашнеста мана по пшеницата в началото на вегетацията (трети лист-начало на вретенене) намаляват броя на растенията и броя на зърната в класовете (Jevtic et al., 1991). Контролирането на брашнестата мана по пшеницата се осъществява основно с използването на химични средства, което води до увеличаване на разходите за производство и замърсяване на околната среда. Отглеждането на устойчиви сортове е икономически най-ефективния и екологосъобразен метод за контрол на болестта. *Blumeria gr. f.sp. tritici* е широко разпространен, има сложна популационна структура и бърза скорост на мутация, което прави болестта изключително вредоносна и трудна за предотвратяване и контрол (Abdelrhim et al., 2018; Cowger et al., 2018). Към момента има картографиран над 92 обозначени гени или алели за устойчивост на брашнеста мана (*Pm*) в 63 различни локуса в пшеницата (McIntosh et al., 2017; Li et al., 2019; Lu et al., 2020; Xu et al., 2020; Gaurav et al., 2022; Zhang et al., 2023). Въпреки, че са

докладвани много на брой *Pm* гени, повечето от тях не могат да се използват директно в производството поради съпротивление на връзката или лоши агрономически характеристики като *Pm 55*, получен от *Dasyphyrum villosum* L. и *Pm 56*, получен от ръж (*Secale cereale* L.) (Zhang et al., 2016; Hao et al., 2018). Повечето от тези гени са специфични за расата и при внедряването им на големи площи в производството лесно губят резистентността си, поради непрекъснатите мутации в популациите на патогена при екстремните промени в околната среда. Последните проучвания сочат, че *Pm 2*, *Pm 3a*, *Pm 3b*, *Pm 3f*, *Pm 4a*, *Pm 6*, *Pm 8* и *Pm 17* са загубили устойчивостта си в отделни части на САЩ, докато *Pm 1a*, *Pm 3a* и *Pm 8* са с преодоляна устойчивост в Австралия, Китай и Египет (Parks et al., 2008; Cowger et al., 2018).

Гените за устойчивост към брашнеста мана могат да бъдат идентифицирани чрез приблизителен метод, базиран на набор от изолати на брашнеста мана или чрез използване на RFLP маркери, тясно свързани с конкретни гени за устойчивост (Švec et al., 2002). Специфични гени за резистентност са идентифицирани за първи път чрез анализът на взаимодействията гостоприемник-патоген на немски сортове пшеница (Heun and Fischbeck, 1987). Чрез използването на RFLP маркери за резистентни гени, могат да бъдат идентифицирани едновременно допълнителни гени за устойчивост в един генотип, особено ако притежава пълна резистентност. Идентифицирането на специфични резистентни гени е от съществено значение, тъй като дава възможност на селекционерите да подберат правилния донор на устойчивост.

Целта на това изследване е да проучим устойчивостта на образци и линии обикновена пшеница, както и наличието на специфични гени за устойчивост в тях към шест раси на *Bl. graminis* f. sp. *tritici*.

МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

В изследването са проучени 41 селекционни линии и 30 сорта зимна обикновена пшеница, както и шест раси на *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* с различна вирулентност от различни райони на България. В проучването са включени 19 диференциращи сортове и линии с известни *Pm* гени, и в зависимост от типа на инфекция показвана от тях към *Bl. graminis* f. sp. *tritici*, расите бяха използвани за идентифициране на гени, предоставящи резистентност в млада възраст на тестваните селекционни линии и сортове.

Изследването е проведено при оранжерийни условия в ДЗИ – гр. Г. Тошево през пролетта на 2023 година. Между пет и седем растения от всеки сорт и диференциална линия са отглеждани в метални съдове с размери 29x29x7 cm. Като контрола е използван високочувствителния сорт Садовска ранозрейка 4, засят на пет места в терените. Инокулирането на растенията с всяка една от расите се извършваше във фаза „втори лист“. Отглеждането на заразените растения ставаше при климатични параметри, близки до оптималните за развитие на патогена - температура 18-20°C и относителна влажност 80%. Типът на инфекцията се отчиташе след 8-10 дни по скалата на Mains and Diktz (1930), където:

- 0 – липсват симптоми;
- 0; - хиперсензитивна реакция, хлоротични или некротични петна без видим мицел;
- 1 – слабо развит мицел без видимо спороношение;
- 2 – наличие на малки пестули и слабо спороношение;
- 3 – колонии с добре развити хифи и обилни конидии;

4 – много на брой едри пестули (колонии) с обилно спороношение.

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Данните от Таблица 1 показват, че диференциалните сортове, притежаващи резистентните гени *Pm 2*, *Pm 4*, *Pm 5*, *Pm 6*, *Pm 7*, *Pm 3b*, *Pm 3d* и неидентифицираните гени в *Salzmunder* и *Chanchelor* са чувствителни към всичките шест раси на *Bl. graminis* f. sp. *tritici*, участващи в изследването. Сортовете *Halle Stam*, *Asosan* и *Khapli* проявяват устойчивост към четири раси като *Halle Stam*, който притежава гена *Pm Mld* е устойчив към раси 7457, 3677, 3657 и 3637, а *Asosan* и *Khapli* съответно с гените *Pm 3a* и *Pm 4a* - към раси 7757, 7457, 3657 и 3637. Към три от расите (3677, 3657 и 3637) устойчива реакция показват сортовете *Axminster* с ген *Pm 1* и *Axminster/8xCc X Chanchelor* с генната комбинация *Pm 1+?*. Резистентният ген *Pm 17* съдържащ се в диференциалния сорт *Amigo* показва устойчивост към раси 3677 и 3637. Към две раси (3657 и 3637) устойчивост показва и генната комбинация *Pm 3c+?*. Сортовете *Disponent* с резистентен ген *Pm 8* и *Weihenstephen M1* с резистентен ген *Pm 4b* показват устойчива реакция към раса 7457, а *Kenya civet* съдържащ генната комбинация *Pm 2+6* е устойчив на раса 3637. С най-висока вирулентност се отличава раса 7777, като всички резистентни гени, включени в това изследване са чувствителни на тази раса. На второ място по вирулентност се нарежда раса 7757. Най-слаба вирулентност има раса 3637, следвана от раси 3657 и 7457. Резистентна реакция към раса 3637 показват осем от *Pm* гените в изследването, а към раси 3657 и 7457 съответно шест и пет от *Pm* гените.

Реакцията на 30 образци и 41 селекционни линии обикновена пшеница е показана в Таблицы 2 и 3. От проучените 71 селекционни материали 46 очевидно не съдържат главни резистентни гени от тези в използваните диференциални сортове, тъй като са чувствителни на всички раси. Останалите селекцион-

Таблица 1. Реакция на 19 диференциални сортове пшеница с известни резистентни гени или алели към шест раси на *Blumeria gr. f. sp. tritici***Table 1.** Reaction patterns of 19 differential wheat cultivars with known resistance genes or alleles to 6 races of *Blumeria gr. f. sp. tritici*

Сортове/ Cultivars	Гени/ Genes	Раси / Races					
		7777	7757	7457	3677	3657	3637
Salzmunder	-	S	S	S	S	S	S
Ulka / 8xCc	Pm 2	S	S	S	S	S	S
Hope sel	Pm 5	S	S	S	S	S	S
Chul	Pm 3b	S	S	S	S	S	S
Kenya civet	Pm 2+6	S	S	S	S	S	R
Transec	Pm 7	S	S	S	S	S	S
Fakir	Pm 4?	S	S	S	S	S	S
PI - 405718	Pm 6	S	S	S	S	S	S
Kolobri	Pm 3d	S	S	S	S	S	S
Chanchelor	-	S	S	S	S	S	S
Disponent	Pm 8	S	S	R	S	S	S
Weihenstephen M1	Pm 4b	S	S	R	S	S	S
Sonora / 8xCc X Chanchelor	Pm 3c +?	S	S	S	S	R	R
Amigo	Pm 17	S	S	S	R	S	R
Axminster/8xCc X Chanchelor	Pm 1 +?	S	S	S	R	R	R
Axminster/8xCc	Pm 1	S	S	S	R	R	R
Halle stam	Pm Mld	S	S	R	R	R	R
Asosan / 8xCc	Pm 3a	S	R	R	S	R	R
Khapli	Pm 4a	S	R	R	S	R	R

ни материали показват устойчивост поне на една раса. Линия „10/131-55-56“ (Табл. 3), показва устойчива реакция към всичките шест раси включени в изследването. Две от линиите показват устойчивост към пет раси. Линия „14/53-1“ е резистентна към расите 7757, 7457, 3677, 3657 и 3637, а линия „14/53-10“ към раси 7777, 7457, 3677, 3657 и 3637. Сорт «Santorin» и линиите „18/10-11“, „18/87-61“, „14/52-92“, „14/52-104“, „14/15-42“, „14/52-43“ и „14/53-75“ се отличават с резистентна реакция към расите 7757, 7457, 3657 и 3637, а линия „12N15-75“ към раси 7457, 3677, 3657 и 3637. Към три раси устойчивост показват сорт „Salazar« (7757, 7457 и 3657) и линиите „17/44-8“ (7757, 3657 и 3637), както и „16/13-104“ (7457, 3657 и 3637). Сортовете „Gabrio 21“, „Forkali“,

„Alkantra 19“, „Mv-Dandar 22“, „Chudomira“ и „Kasidy“ и линиите „09/232-65 GT 9-232“, „08/147-32 (Zara GT 8-14)“, „DH 974/8-2-30“ и DH „995-100“ притежават резистентност към една раса. Данните от Табл. 2 и Табл. 3 показват, че сорт „Santorin“ и линиите „18/10-11“, „18/87-61“, „14/52-92“, „14/52-104“, „14/15-42“, „14/52-43“ и „14/53-75“ показват тип на устойчивост както резистентните гени *Pm 3a*, *Pm 4a*, *Pm 8* и генните комбинации *Pm 3c+?* и *Pm 2+6*.

При линия „12N15-75“ се установяват резистентните гени *Pm Mld*, *Pm 17*, *Pm1*, *Pm 2+6*, *Pm 3c+?* и *Pm 1+?*. Сортовете „Alkantra 19“, „Chudomira“ и „Kasidy“ и линиите „09/232-65 GT 9-232“, „DH 974/8-2-30“ и „DH 995-100“ имат същата реакция като диференци-

Таблица 2. Реакция на образци обикновена пшеница към шест раси на *B. Gr. f. sp. tritici***Table 2.** Reactions of common wheat samples of *Bl. gr. f. sp. tritici* in seedling tests

№	Сортове / Cultivars	Раси / Races					
		7777	7757	7457	3677	3657	3637
1	Mladen	S	S	S	S	S	S
2	Roki 3 (23/19-1)	S	S	S	S	S	S
3	Andante19	S	S	S	S	S	S
4	Ansemira 19	S	S	S	S	S	S
5	Fenomen	S	S	S	S	S	S
6	Katarina 16-1	S	S	S	S	S	S
7	Komilfo19	S	S	S	S	S	S
8	Gabrio 21	S	S	S	S	R	S
9	Providence	S	S	S	S	S	S
10	Forkali	S	S	S	S	R	S
11	Santorin	S	R	R	S	R	R
12	Lavandou	S	S	S	S	S	S
13	Solindo	S	S	S	S	S	S
14	Alkantra 19	S	S	R	S	S	S
15	LG Aplico 21-3	S	S	S	S	S	S
16	Arnova	S	S	S	S	S	S
17	Salazar	S	R	R	S	R	S
18	Mv-Dandar 22	S	S	S	S	S	R
19	Artek	S	S	S	S	S	S
20	Roki 4-23	S	S	S	S	S	S
21	Radoslava 241/03-50	S	S	S	S	S	S
22	DAI 2545 2545-2-5	S	S	S	S	S	S
23	GT 14-12 (12N187-38)	S	S	S	S	S	S
24	GT 15-35	S	S	S	S	S	S
25	Shibil (20/28-63 GT 20/28)	S	S	S	S	S	S
26	Chudomira (10/20-93-1GT10/20)	S	S	R	S	S	S
27	Androniia (DH883/5-2 GT 883-5)	S	S	S	S	S	S
28	Indje (07N8-21-50 GT 7-50)	S	S	S	S	S	S
29	Julita (453/13-2 GT 7-190)	S	S	S	S	S	S
30	Kasidy (12N199-17 GT 12-199)	S	S	R	S	S	S
31	09/232-60	S	S	S	S	S	S
32	(09/232-65 GT 9-232)	S	S	R	S	S	S
33	08/147-32 (Zara GT 8-14)	S	S	S	S	R	S
34	Falado 21	S	S	S	S	S	S
35	Moresa	S	S	S	S	S	S
36	Sadovska ranozrejka 4	S	S	S	S	S	S

алните сортове Disponent и Weihenstephen M1, които носят съответно гените Pm 8 и Pm 4b. Линия „10/131-55-56“, която има устой-

чивост към всичките шест раси, включени в изследването показва наличие на неидентифициран ген плюс комбинация от резистент-

Таблица 3. Реакция на селекционни линии обикновена пшеница към шест раси на *Bl. gr. f. sp. tritici*
Table 3. Reactions of breeding lines of common wheat to six races of *Bl. gr. f. sp. tritici* in seedling tests

№	Линии / Lines	Раси / Races					
		7777	7757	7457	3677	3657	3637
1	GT 15-35	S	S	S	S	S	S
2	09/177-73	S	S	S	S	S	S
3	11/148-52	S	S	S	S	S	S
4	10/94-30	S	S	S	S	S	S
5	10/131-55-56	R	R	R	R	R	R
6	17/44-8	S	R	S	S	R	R
7	11/148-14	S	S	S	S	S	S
8	17/44-18	S	S	S	S	S	S
9	17/44-20	S	S	S	S	S	S
10	10/260-64	S	S	S	S	S	S
11	09/2-67	S	S	S	S	S	S
12	18/7-27	S	S	S	S	S	S
13	18/10-11	S	R	R	S	R	R
14	18/47-30	S	S	S	S	S	S
15	18/87-61	S	R	R	S	R	R
16	14/52-92	S	R	R	S	R	R
17	14/52-104	S	R	R	S	R	R
18	18/46-6-10	S	S	S	S	S	S
19	DH 974/8-2-30	S	S	R	S	S	S
20	DH 997/37-3	S	S	S	S	S	S
21	08/147-29	S	S	S	S	S	S
22	08/147-32 GT 08-147	S	S	S	S	S	S
23	14/15-42	S	R	R	S	R	R
24	14/52-43	S	R	R	S	R	R
25	16/13-104	S	S	R	S	R	R
26	16/14-20	S	S	S	S	S	S
27	14/53-75	S	R	R	S	R	R
28	14/53-1	S	R	R	R	R	R
29	14/53-10	R	R	R	S	R	R
30	DH 995-100	S	S	R	S	S	S
31	16/49-5	S	S	S	S	S	S
32	17/5-95	S	S	S	S	S	S
33	17/11-55	S	S	S	S	S	S
34	12N15-75	S	S	R	R	R	R
35	12N77-39	S	S	S	S	S	S

ните гени Pm Mld+3a+4a+8+4b+1+(1+?) +17+(3с+?)+(2+6). Комбинация от гени притежава и линия „14/53-1“ - Pm Mld+3a+4a+8+4b+1+(1+?) +17+(3с+?)+(2+6), а при линия „14/53-10“

се наблюдава наличие на гените 3a+4a+4b+8+(3с+?)+(2+6) плюс неидентифициран ген.

С най-висока честота на идентифициране (28%) са гените за устойчивост Pm 8 и Pm 4b.

След тях се нареждат генните комбинации *Pm 2+6*, *Pm 3c+?* с честота на идентифициране съответно 21% и 20%. Резистентните гени *Pm 3a* и *Pm 4a* имат честота на идентифициране 15%. Спектърът на резистентните гени в сортовете гостоприемници оказва влияние върху структурата на популациите от брашнеста мана. При тестване на 198 сорта и линии пшеница Wang et al. (2005) установяват, че 98 от тях притежават един или няколко резистентни гени към брашнеста мана, и че гените *Pm 8* и *Pm 4b* са най-често срещани в китайските сортове, докато *Pm 8* и *Pm 3d* присъстват най-често в интродуцирани сортове от CIMMYT, САЩ и европейските страни. Според Wang et al. (2005) сортовете пшеница, носещи гените *Pm 1*, *Pm 3e*, *Pm 5* и *Pm 7* са чувствителни, докато сортовете с гени *Pm 12*, *Pm 16* и *Pm 20* са устойчиви на почти всички изолати на брашнестата мана. Резултатите от настоящото изследване показват, че сортовете и линиите притежаващи гените *Pm 5* и *Pm 7* също са чувствителни към всички раси, включени в изследването, докато тези с ген *Pm 1* са устойчиви към три от расите. Според Švec et al. (2002) *Pm 8* е най-често срещаният резистентен ген в унгарските сортове, а при полските сортове най-често се среща генната комбинация *Pm 2+6*.

Сортовете „Gabrio 21“ и „Forkali“ и линия „08/147-32 (Zara GT 8-14)“ (Табл.2) имат тип на реакция, който не съответства на никой от известните гени включени в изследването. Съществуването обаче на няколко резистентни реакции показва наличието на някакъв неизвестен резистентен ген в тези генотипи, който поради липса на съответни раси на *Bl. gr. f. sp. tritici* или диференциални линии не беше идентифициран.

Освен това, 46 от генотипите, включени в изследването са чувствителни към всички проучени раси на *Bl. gr. f. sp. tritici*, което показва, че тези генотипи или не притежават резистентни гени, или притежават резистентни гени, които са били преодолені от съответна вирулентност във всичките шест раси, използвани в това проучване.

При сравняване на резултатите от проучените образци и селекционните линии се наблюдава използването на различни източници на устойчивост. Докато при образците са използвани генетични източници, съдържащи *Pm 8* и генната комбинация *Pm 2+6*, при селекционните линии са използвани по-голям брой източници на устойчивост, носещи *Pm 3a*, *Pm 4a*, *Pm Mld*, *Pm3c+?*, както и *Pm 8* и *Pm 2+6*.

ИЗВОДИ

1. От проучените 71 сортове и линии обикновена пшеница, 25 показват устойчивост към една или повече раси на *Bl. gr. f. sp. tritici*. Най-висока устойчивост е отчетена при линиите „10/131-55-56“, „14/53-1“ и „14/53-10“. Линия „10/131-55-56“ е устойчива на всички проучени раси, а линиите „14/53-1“ и „14/53-10“ са устойчиви към пет от расите.

2. Най-често са идентифицирани резистентните гени *Pm 8* и *Pm 4b*. След тях се нареждат генните комбинации *Pm 2+6*, *Pm 3c+?*.

3. С най-висока вирулентност се отличава раса 7777 като всички резистентни гени, включени в това изследване са чувствителни на тази раса. Най-слаба вирулентност има раса 3637.

ЛИТЕРАТУРА

- Abdelrhim, A., Abd-Alla, H. M., Abdou, E. S., Ismail, M. E., & Cowger, C. (2018). Virulence of Egyptian *Blumeria graminis* f. sp. tritici population and response of Egyptian wheat cultivars. *Plant Disease*, 102(2), 391-397.
- Akhkha, A., Clarke, D. D., & Dominy, P. J. (2003). Relative tolerances of wild and cultivated barley to infection by *Blumeria graminis* f. sp. hordei (Syn. *Erysiphe graminis* f. sp. hordei). II—the effects of infection on photosynthesis and respiration. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 62(6), 347-354.
- Cowger, C., Mehra, L., Arellano, C., Meyers, E., & Murphy, J. P. (2018). Virulence differences in *Blumeria graminis* f. sp. tritici from the central and eastern United States. *Phytopathology*, 108(3), 402-411.

- Everts, K. L., & Leath, S. (1992). Effect of early season powdery mildew on development, survival, and yield contribution of tillers of winter wheat. *Phytopathology*, 82(11), 1273-1278.
- Gaurav, K., Arora, S., Silva, P., Sánchez-Martín, J., Horsnell, R., Gao, L., ... & Wulff, B. B. (2022). Population genomic analysis of *Aegilops tauschii* identifies targets for bread wheat improvement. *Nature biotechnology*, 40(3), 422-431.
- Hao, M., Liu, M., Luo, J., Fan, C., Yi, Y., Zhang, L., ... & Liu, D. (2018). Introgression of powdery mildew resistance gene Pm56 on rye chromosome arm 6RS into wheat. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1040.
- Heun, M., & Fischbeck, G. (1987). Identification of wheat powdery mildew resistance genes by analysing host-pathogen interactions. *Plant breeding*, 98(2), 124-129.
- Jevtić, R., Pribaković, M., Stojanović, S., & Leath, S. (1991). Screening the virulence of *Erysiphe graminis* DC. ex Merat f. sp. tritici Em. Marchal in mobile nurseries.
- Li, G., Cowger, C., Wang, X., Carver, B. F., & Xu, X. (2019). Characterization of Pm65, a new powdery mildew resistance gene on chromosome 2AL of a facultative wheat cultivar. *Theoretical and Applied Genetics*, 132(9), 2625-2632.
- Lu, P., Guo, L., Wang, Z., Li, B., Li, J., Li, Y., ... & Liu, Z. (2020). A rare gain of function mutation in a wheat tandem kinase confers resistance to powdery mildew. *Nature communications*, 11(1), 680.
- Mains, E. B., & Diktz, S. M. (1930). Physiologic forms of Barley mildew, *Erysiphe graminis hordei*.
- McIntosh, R. A., Dubcovsky, J., Rogers, W. J., Morris, C., Appels, R., & Xia, X. C. (2017). Catalogue of gene symbols for wheat: 2017 supplement. In: *KOMUGI wheat genetic resource database*.
- Parks, R., Carbone, I., Murphy, J. P., Marshall, D., & Cowger, C. (2008). Virulence structure of the eastern US wheat powdery mildew population. *Plant Disease*, 92(7), 1074-1082.
- Sabri, N., Dominy, P. J., & Clarke, D. D. (1997). The relative tolerances of wild and cultivated oats to infection by *Erysiphe graminis* sp. avenae: II. The effects of infection on photosynthesis and respiration. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 50(5), 321-335.
- Švec, M., Szunics, L., Miklovicova, M., Slovákova, T., Tisová, V., & Hauptvogel, P. (2002). Identification of genes for resistance to wheat powdery mildew in Hungarian, Polish and Slovak wheat cultivars. *PLANT PROTECTION SCIENCE-PRAGUE*, 38(2), 64-72.
- Ullah, K. N., Li, N., Shen, T., Wang, P., Tang, W., Ma, S., ... & Ma, Z. (2018). Fine mapping of powdery mildew resistance gene Pm4e in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Planta*, 248(5), 1319-1328.
- Wang, Z. L., Li, L. H., He, Z. H., Duan, X. Y., Zhou, Y. L., Chen, X. M., ... & Xia, X. C. (2005). Seedling and adult plant resistance to powdery mildew in Chinese bread wheat cultivars and lines. *Plant Disease*, 89(5), 457-463.
- Xu, X., Liu, W., Liu, Z., Fan, J., & Zhou, Y. (2020). Mapping powdery mildew resistance gene pmYBL on chromosome 7B of Chinese wheat (*Triticum aestivum* L.) landrace Youbailan. *Plant Disease*, 104(9), 2411-2417.
- Zhang, R., Sun, B., Chen, J., Cao, A., Xing, L., Feng, Y., ... & Chen, P. (2016). Pm55, a developmental-stage and tissue-specific powdery mildew resistance gene introgressed from *Dasypyrum villosum* into common wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 129(10), 1975-1984.
- Zhang, W., Yu, Z., Wang, D., Xiao, L., Su, F., Mu, Y., ... & Ma, P. (2023). Characterization and identification of the powdery mildew resistance gene in wheat breeding line ShiCG15-009. *BMC Plant Biology*, 23(1), 113.

Received: July, 18, 2025; Approved: September, 22, 2025; Published: October, 2025