https://doi.org/10.61308/RVIK1143

Приложение на модела EAYM за определяне на предвидимостта на изолати от патогена *Phomopsis helianthi* върху генотипове слънчоглед в различни условия на средата

Христо Стоянов, Мария Петрова
Добруджански земеделски институт – Генерал Тошево, Селскостопанска академия, София
E-mail*: hpstoyanov@abv.bg, maria.petrovaa.1994@gmail.com*
Христо Стоянов ORCID: 0000-0003-0733-9077
Мария Петрова ORCID: 0000-0002-2129-4285

Резюме: Селекцията на устойчивост намира значимо място при създаването на високопродуктивни хибриди слънчоглед. Едно от най-вредоносните заболявания при културата, предизвикано от патогена *Phompsis helianthi* е слабо проучено по отношение на реакцията си върху разнообразни генотипове слънчоглед при различни условия на средата. С цел да бъде изследвана предвидимостта на реакцията на патогена при различни съчетания от генотип на гостоприемника и условията на годината е изпитана колекция от 32 изолата върху слънчогледовия сорт Фаворит и хибрида Деведа през стопанските 2022 и 2023 години. За оценка на агресивността и предвидимостта на реакцията на изолатите е приложен моделът EAYM (Environment Adjusted Yield Model). Този модел е приложен за пръв път при оценка на фитопатогенна реакция. На база на получените резултати е установено, че най-висока моделна агресивност се наблюдава при изолатите Ph21-612, Ph21-614, Ph21-6211, Ph21-411 и Ph21-413, а най-ниски стойности се наблюдават при изолатите Ph21-611, Ph21-724 и Ph21-414. Най-високо предвидима реакция е отчетена при изолатите Ph21-724, Ph21-6213, Ph21-414, Ph21-722, Ph21-611 и Ph21-613, а най-слабо предвидима при Ph21-612, Ph21-614, Ph21-723, Ph21-411 и Ph21-413. Изолатите Ph21-451, Ph21-6214, Ph21-722, Ph21-231, Ph21-211 и Ph21-212 обединяват високоагресивна и предвидима реакция, което позволява по-прецизна работа при оценка на устойчивостта на селекционни материали. Получените резултати показват и че модела EAYM има достоверен характер, което го прави достатъчно ефективен за внедряването му в практическата селекция на слънчоглед за устойчивост към икономически важни заболявания.

Ключови думи: селекция; устойчивост; слънчоглед; *Phomopsis*; EAYM

Application of the EAYM model for determining the predictability of isolates of the pathogen *Phomopsis helianthi* on sunflower genotypes under different environmental conditions

Hristo Stoyanov, Maria Petrova
Dobrudzha Agricultural Institute – General Toshevo, Agricultural academy, Sofia, Bulgaria
E-mail: *hpstoyanov@abv.bg, maria.petrovaa.1994@gmail.com*
Hristo Stoyanov ORCID: 0000-0003-0733-9077
Maria Petrova ORCID: 0000-0002-2129-4285

Citation: Stoyanov, H., & Petrova, M. (2025). Application of the EAYM model for determining the predictability of isolates of the pathogen *Phomopsis helianthi* on sunflower genotypes under different environmental conditions. *Bulgarian Journal of Crop Science, 62*(4) 54-67 (Bg).

Abstract: Resistance breeding has a significant role in the creation of high-yielding sunflower hybrids. One of the most harmful diseases in the crop, caused by the pathogen *Phompsis helianthi*, has been poorly studied

in terms of its response to various sunflower genotypes under different environmental conditions. In order to investigate the predictability of the pathogen's response to different combinations of host genotype and year conditions, a collection of 32 isolates was tested on the sunflower variety Favorit and the hybrid Deveda during the 2022 and 2023 growing periods. The EAYM (Environment Adjusted Yield Model) was applied to assess the aggressiveness and predictability of the response of the isolates. This model was applied for the first time in assessing phytopathogenic response. Based on the obtained results, it was found that the highest model aggressiveness was observed in isolates Ph21-612, Ph21-614, Ph21-6211, Ph21-411 and Ph21-413, and the lowest values were observed in isolates Ph21-611, Ph21-724 and Ph21-414. The most predictable reaction was reported in isolates Ph21-724, Ph21-6213, Ph21-414, Ph21-722, Ph21-611 and Ph21-613, and the least predictable in Ph21-612, Ph21-614, Ph21-723, Ph21-411 and Ph21-413. Isolates Ph21-451, Ph21-6214, Ph21-722, Ph21-231, Ph21-211 and Ph21-212 combine a highly aggressive and predictable reaction, which allows for more precise work in assessing the resistance of breeding materials. The results obtained also show that the EAYM has a reliable performance, which makes it effective enough for its implementation in the practical breeding of sunflower resistance for economically important diseases.

Keywords: breeding; resistance; sunflower; *Phomopsis*; EAYM

ВЪВЕДЕНИЕ

Един от най-значимите патогени при културния слънчоглед е гъбата *Phomopsis/ Diaporthe helianthi*, която е основния причинител на заболяването „Сиви петна по слънчогледа". При силно нападение засегнатите стъбла се пречупват вследствие на хистолизата на тъканите на гостоприемника, което води до сериозна редукция в продуктивността на културата. Загубите достигат до над 50%, а при силно чувствителни генотипове, посевът може да бъде напълно компроментиран (Mathew et al., 2015). При условията на нашата страна патогенът засяга предимно стъблата на слънчогледовите растения (Encheva, 2006), но в други климатични области са съобщавани данни и за нападение върху питата (Didenko, 2015). Поради сериозните щети, които нанася на слънчогледовото производство сериозен интерес представлява намирането на източници на устойчивост и прехвърлянето ѝ във високопродуктивни хибриди (Encheva, 2002). Редица изследвания в страната (Encheva, 2006; Encheva et al., 2014; Petrova et al., 2023) и чужбина (Didenko, 2015; Mathew et al., 2015) показват, че устойчивостта към патогена има количествен характер. Съществуват и не малък брой автори, които съобщават, че устойчивост към заболяването се наблюдава, но и може успешно да бъде прехвърлено от диви родственици на културния слънчоглед (Nikolova and Encheva, 1994; Christov et al., 2009; Skoric, 2012; Valkova et al., 2015; Valkova et al., 2016; Valkova et al., 2017; Petrova et al., 2021; Damyanova-Serbezova et al., 2024).

Особеност на европейските популации на *Phomopsis helianthi* в страната е тяхното клонално разпространение (Petrova and Kiryakov, 2024). Това позволява появата и развитието на определено генетично разнообразие в популациите на патогена. Тъй като протичането на заболяването зависи до голяма степен от количеството на валежите (Petrova, 2024a), фенофазата на гостоприемника (Encheva, 2006; Petrova, 2024b) и изпитвания генотип, съществуването на генетично разнообразие изисква селекционния процес да се извежда с форми, които са достатъчно агресивни и се влияят в по-малка степен от условията на средата и други фактори. Поради тази причина при изкуствено заразяване, използваните изолати следва да се отличават с достатъчно висока предвидимост - т.е. да запазват своята висока агресивност в контрастни условия.

В света не съществуват данни до каква степен изолати от *Phomopsis helianthi* са стабилни под въздействието на комбинация от фактори. Изключение прави изследва-

нето на Petrova (2024), при което на база на AMMI-анализ е установена предвидимостта на група изолати от патогена. При оценка на стабилността на сортове и хибриди, обаче, следва да се прилага множествен интегриран подход (Tsenov and Gubatov, 2018; Stoyanov, 2024). Това налага оценката на подобна колекция от изолати да бъде проведена на същия принцип, за да бъде достатъчно адекватна от селекционна гледна точка. Същевременно използването на контрастни условия на средата често замаскира фенотипните прояви и не дава възможност за правилното рангуване на генотиповете (изолатите). Stoyanov (2021) разработва модел за оценка на добива и стабилността при тритикале, който се основава на факта, че при различаващите се условия на средата повлияват значително стойностите на добива. Прилагането на модела позволява определянето на стабилността/предвидимостта да бъде оценено на база на реалното изменение на генотипа под въздействие на определени условия на средата. Тъй като комбинациите от фактори, които въздействат на реакцията от конкретен изолат се различават значително, то разнообразните съчетания от генотип на гостоприемника и условия на годината може да се счита за контрастни условия за патогена. Това дава възможност към интегрирания подход за определяне на стабилност/предвидимост да се включи и модел, който се базира на реалното взаимодействие на генотипа и средата.

Целта на настоящото изследване е да се проследи стабилността/предвидимостта на колекция от изолати на патогена *Phomopsis helianthi*, посредством модела EAYM и да се определят такива, които съчетават висока агресивност и предвидимост на агресивността, за да бъдат ефективно прилагани в селекционната работа по откриването на източници на устойчивост към заболяването.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

Растителен материал, изолати, отглеждане и изкуствено заразяване

За осъществяване на основната цел на изследването са използвани 30 изолата от пато-

Таблица 1. Изолати от *Phomopsis helianthi*, включени в изследването
Table 1. *Phomopsis helianthi* isolates included in the study

№	Изолат/Isolate	Произход/Origin	№	Изолат/Isolate	Произход/Origin
1	Ph21-451	Русе/Ruse	17	Ph21-721	Карнобат/Karnobat
2	Ph21-452	Русе/Ruse	18	Ph21-722	Карнобат/Karnobat
3	Ph21-611	ДЗИ/DAI	19	Ph21-723	Карнобат/Karnobat
4	Ph21-612	ДЗИ/DAI	20	Ph21-724	Карнобат/Karnobat
5	Ph21-613	ДЗИ/DAI	21	Ph21-241	Ямбол/Yambol
6	Ph21-614	ДЗИ/DAI	22	Ph21-231	Ямбол/Yambol
7	Ph21-6211	ДЗИ/DAI	23	Ph21-411	Русе/Ruse
8	Ph21-6212	ДЗИ/DAI	24	Ph21-412	Русе/Ruse
9	Ph21-6213	ДЗИ/DAI	25	Ph21-413	Русе/Ruse
10	Ph21-6214	ДЗИ/DAI	26	Ph21-414	Русе/Ruse
11	Ph21-6221	ДЗИ/DAI	27	Ph21-415	Русе/Ruse
12	Ph21-6222	ДЗИ/DAI	28	Ph21-421	Русе/Ruse
13	Ph21-6223	ДЗИ/DAI	29	Ph21-422	Русе/Ruse
14	Ph21-6224	ДЗИ/DAI	30	Ph21-423	Русе/Ruse
15	Ph21-6231	ДЗИ/DAI	31	Ph21-211	Ямбол/Yambol
16	Ph21-6232	ДЗИ/DAI	32	Ph21-212	Ямбол/Yambol

ДЗИ – Добруджански земеделски институт/DAI – Dobrudzha Agricultural Institute

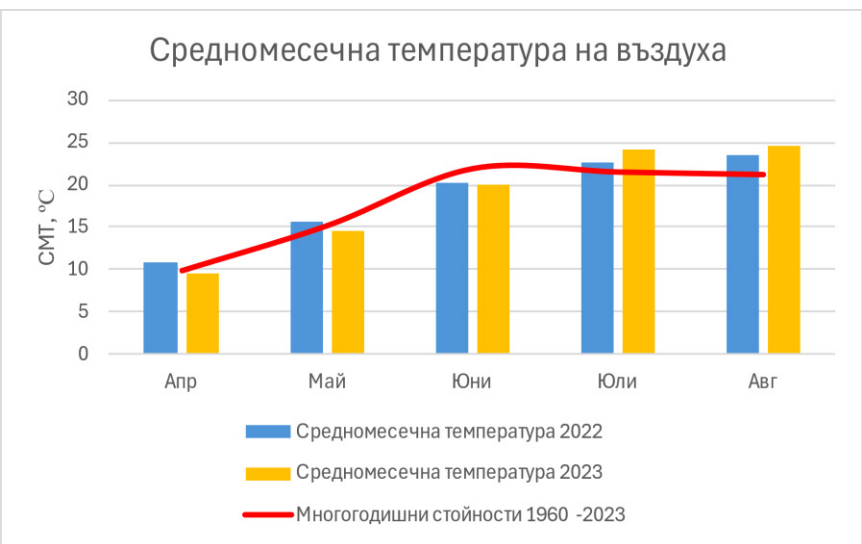
гена на сивите петна по слънчогледа, които са събрани при обходи на територията на страната (Таблица 1).

Агресивността на отделните изолати се установява при инфектиране на два генотипа слънчоглед (хибрид Деведа и сорт Фаворит) при полски условия през 2022 и 2023 реколтна година. Сеитбата е извършена в редове с дължина 2.40 m, междуредовото и вътредовото разстояние са съответно 0.7 m и 0.3 m. Инокулирането е извършено във фенофаза преди бутонизация (BBCH 51 – Поява на цветен бутон между най-горните листа до Бутонът се отделя от най-горните листа, прилистниците са оформени по Weber and Bleiholder, 1990; Lancashire et al., 1991), по т. нар. STRAW метод (Encheva and Kiryakov, 2002). С всеки отделен изолат са заразени шест растения от образец и през двете реколтни години. 14 дни след инокулиране е установена реакцията върху заразените растения по 9-балната скала (Petrova, 2024a). Балната оценка е трансформирана в площ под кривата на развитие (AUDPC) (по методиката на Simko and Piepho (2012) за двата генотипа.

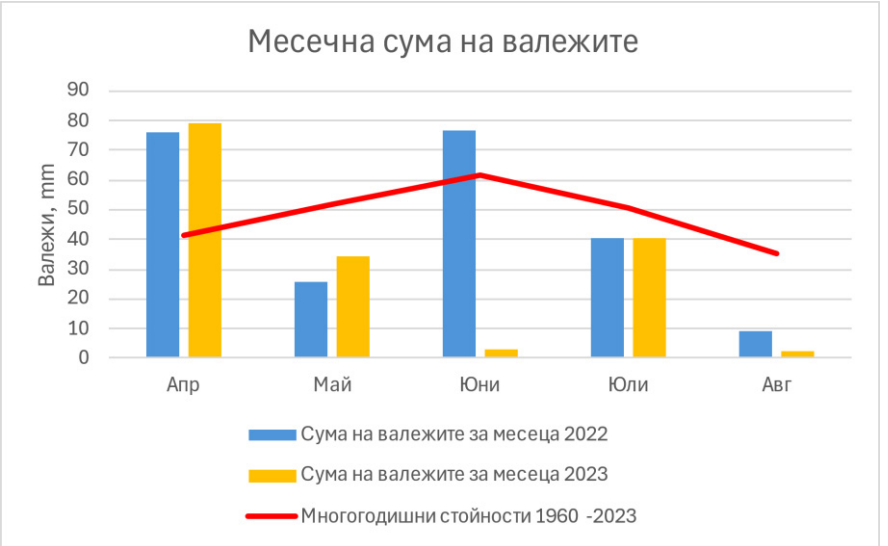
Метеорологични условия

Температурата на въздуха през периода на изследване не се различава съществено за двете стопански години. През периода април-юни, стопанската 2022 година се доближава в по-голяма степен до средната многогодишна тенденция. Реколтната 2023 година от своя страна се характеризира като по-хладна през този период. През юли-август се наблюдава противоположната тенденция, 2023 г. да се характеризира с по-високи летни температури, но и през двата периода стойностите са по-високи от обичайните за района средни температури. Независимо от това липсват термални аномалии, което създава предпоставка за нормалното развитие както на слънчогледовите растения, така и за патогена *Phomopsis helianthi*.

Валежите през изследвания период се различават значително през двете стопански години както по отношение на количественото, така и по тяхната равномерност на разпределение. През април и май и на двете години валежите са сравнително идентични, като през април надвишават характерните за месеца валежи, а през май те са почти наполовина по-малки като количество. Най-значими различия се наблюдават през месец юни на двете реколтни години. През 2022 количеството на валежите е изключително високо, надвишаващо характерното средно за месеца, докато през 2023 валежи почти липсват. Тъй като



Фигура 1. Средномесечна температура на въздуха в периода на изследване
Figure 1. Average monthly air temperature during the study period



Фигура 2. Сумарни месечни валежи в периода на изследване
Figure 2. Total monthly precipitation during the study period

според Petrova (2024b) най-подходяща фаза за изкуствено заразяване е моментът преди бутонизация, който съвпада с този период, то липсата на валежи предполага ограничено развитие на патогена, а също така и затормозяване в растежните процеси на слънчогледовите растения. Юли и август на двата стопански периода не се различават значително по отношение на валежите, но това няма отношение към развитието на заболяването тъй като количеството им през юни в значителна степен е предпоставило развитието на системата патоген-гостоприемник.

Статистическа обработка на резултатите

Получените резултати за агресивността на изолатите в бална оценка са трансформирани като стойност на показателя „Площ под кривата на развитие“ по Формула 1.

$$AUDPC = \sum_{i=1}^{N_i-1} \frac{(y_i + y_{i+1})}{2}(t_{i+1} - t_i) \qquad (1),$$

където

y – балова оценка за нападение от *Phomopsis helianthi*,

t – време на отчитане в дни.

Тези стойности са моделирани чрез прилагане на модела EAYM, съгласно методиката на Stoyanov (2021), по Формула 2.

$$\bar{z}_{ij} = \frac{\bar{x}_{ij}}{\frac{\left(\sum_{j=1}^{E} \bar{x}_{ij}\right) - \bar{x}_{ij}}{E-1}} \bar{x}_i \qquad (2),$$

където

$\bar{z}_{ij}$ - моделирана агресивност – EAAUDPC (Environment Adjusted Area Under the Disease Progressive Curve)

$\bar{x}_{ij}$ - стойност на AAUDPC за конкретен изолат при всеки конкретни условия на средата

E – брой условия на средата

Получените стойности за моделната агресивност (EAAUDPC) за отделните изолати са осреднени по години и генотипове на гостоприемника. С цел проследяване на предвидимостта на изолатите, всяка комбинация от гостоприемник и година на изследване се възприема като отделни условия на средата за патогена. Предвидимостта на всеки отделен изолат е изчислена въз основа на Формула 3, като е изведен параметърът $S_{EAAUDPC}$ по Stoyanov (2021).

$$S_{EAAUDPC} = \overline{z}_i - \overline{x}_i \quad (3)$$

Намирането на комбинации от агресивни и предвидими изолати е осъществено чрез построяване на биплот, който съчетава данните за EAAUPPC и $S_{EAAUDPC}$. С цел да се проследи дали прилагането на модела е адекватно от математическа гледна точка са изчислени параметрите за стабилност (b_i, s^2d_i, σ^2_i, W_i^2, IPCA1) въз основа на стойностите на AUDPC по методите на Eberhart and Russell (1966), Shukla (1976), Wricke (1972) и чрез проведен AMMI анализ по Gauch (1992), а също така е приложен и метода на средната рангова оценка (ARE) по Stoyanov et al. (2017). Взаимовръзката на тези показатели с $S_{EAAUDPC}$ е оценена на базата на проведен анализ на основните компоненти. При прилагането на модела EAYM, за обобщаването и осредняването на резултатите, изчисляването на показателя $S_{EAAUDPC}$, средната рангова оценка и за построяването на биплота комбиниращ агресивност и предвидимост е използван програмния продукт MS Office Excell 365. Параметрите за стабилност b_i, s^2d_i, σ^2_i, W_i^2 са изчислени посредством софтуерния продукт StabilitySoft, за извеждане на AMMI анализа е използван програмния продукт AMMISOFT 2.7.13.1., а за анализа на основните компоненти – IBM SPSS Statistics, v.19.

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Моделната агресивност (EAAUDPC) дава представа за реакцията, която даден изолат предизвиква при определени условия за развитие (комбинация от генотип на гостоприемника и метеорологични условия), коригирана спрямо всички други изследвани условия. Това дава възможност конкретната реакция да бъде допълнително „натоварена“ с влиянието на конкретните условия. Ако даден изолат е бил ниско агресивен върху даден генотип при конкретна година спрямо останалите получени резултати за същия изолат, то стойностите на моделираната агресивност ще бъдат още по-ниски. И обратно ако даден изолат е бил по-агресивен при даден генотип и конкретна година спрямо всички други останали условия, то стойностите на моделираната агресивност ще бъдат по-високи. По този начин моделираната агресивност дава възможност определени резултати и реакции да изпъкнат, което позволява по-адекватното им сравняване и правилната оценка спрямо контрастните условия на средата.

Получените резултати за изследваните изолати (Таблица 2) показват разнообразни реакции в зависимост от конкретния изолат, а също и от конкретните условия на средата. При изпитване върху сорт Фаворит в условията на 2022 година, с най-високи стойности на моделираната агресивност са изолатите Ph21-614, Ph21-6211, Ph21-6212, Ph21-6214, Ph21-723 и Ph21-422. Съответно с най-ниски стойности са изолатите Ph21-452, Ph21-611, Ph21-613, Ph21-6224, Ph21-6232 и Ph21-241. При същия сорт, но при условията на 2023 година висока моделна агресивност са показали изолатите Ph21-452, Ph21-6212, Ph21-6232 и Ph21-212, а много ниска е отчетена при 17 изолата, като най-ниски са стойностите при Ph21-614, Ph21-411, Ph21-413, Ph21-422 и Ph21-423. При хибрид Деведа, отгледан в условията на 2022 година са отчетени високи стойности на моделираната агресивност при изолатите Ph21-612, Ph21-614, Ph21-6221, Ph21-411, Ph21-413 и Ph21-423. От друга страна, ниска агресивна реакция на базата на показателя EAAAUDPC се наблюдава при изолати Ph21-452, Ph21-6212, Ph21-6232, Ph21-412, Ph21-414, Ph21-415, Ph21-421 и Ph21-212. С висока моделирана агресивност при същия хибрид, но в условията на стопанската 2023 година са изолатите Ph21-722, Ph21-241, Ph21-412, Ph21-421, Ph21-423 и Ph21-212. По-слаба агресивна реакция на база на приложения модел е отчетена при изолати Ph21-611, Ph21-6211, Ph21-6223, Ph21-6224, Ph21-6231, Ph21-6232, Ph21-721 и Ph21-411. Средно за всички комбинации от условия на годината и генотип на гостоприемника с най-висока моделирана агресивност се отличават изолатите

Ph21-612, Ph21-614, Ph21-6211, Ph21-411 и Ph21-413. Най-ниска моделирана агресивност се наблюдава при изолати Ph21-611, Ph21-724 и Ph21-414. При обобщаване на резултатите за всички изолати с най-ниска моделна агресивност е средната реакция при сорт Фаворит за 2023 година, а най-висока е тази при хибрид Деведа за стопанската 2022 година.

Таблица 2. Моделна агресивност и стабилност на изолати от *Phomopsis helianthi* изчислена чрез показателя EAAUDPC

Table 2. Model aggressiveness and stability of *Phomopsis helianthi* isolates calculated using the EAAUDPC indicator

Изолат/Isolate	FAV-22	FAV-23	DEV-22	DEV-23	Средно/ Average	$S_{EAAUDPC}$
Ph21-451	29,1	12,2	49,2	17,2	26,9	1,85
Ph21-452	6,2	24,2	6,2	11,9	12,1	1,05
Ph21-611	6,5	6,5	16,8	9,3	9,8	0,43
Ph21-612	32,7	14,0	91,2	16,3	38,6	5,89
Ph21-613	5,9	23,6	19,9	16,5	16,5	0,74
Ph21-614	56,2	5,6	60,9	19,0	35,4	4,49
Ph21-6211	64,2	21,4	46,8	9,6	35,5	3,42
Ph21-6212	51,7	33,7	5,7	14,8	26,5	3,16
Ph21-6213	22,2	18,9	15,8	15,8	18,2	0,09
Ph21-6214	47,2	14,4	35,2	16,9	28,5	1,62
Ph21-6221	19,5	19,5	60,9	19,5	29,8	2,43
Ph21-6222	28,1	5,7	40,8	15,3	22,5	2,07
Ph21-6223	30,3	14,9	52,7	5,7	25,9	3,17
Ph21-6224	6,2	6,2	36,9	6,2	13,9	2,83
Ph21-6231	38,5	6,1	11,3	6,1	15,5	2,66
Ph21-6232	6,2	42,8	6,2	6,2	15,3	3,66
Ph21-721	21,0	6,0	25,2	8,4	15,2	1,15
Ph21-722	25,0	19,4	34,6	34,6	28,4	0,38
Ph21-723	70,4	15,2	10,2	10,2	26,5	5,49
Ph21-724	11,9	8,9	11,9	11,9	11,1	0,04
Ph21-241	8,6	6,1	11,5	27,6	13,5	1,20
Ph21-231	27,4	10,1	31,1	20,8	22,4	0,77
Ph21-411	36,3	5,6	71,8	9,9	30,9	5,84
Ph21-412	6,2	8,8	8,8	28,6	13,1	1,41
Ph21-413	31,4	5,6	72,4	19,5	32,2	4,81
Ph21-414	15,3	8,9	6,2	15,3	11,4	0,37
Ph21-415	25,9	8,5	6,0	17,6	14,5	1,08
Ph21-421	27,8	5,9	8,2	27,8	17,4	1,68
Ph21-422	47,8	5,6	47,8	17,0	29,6	3,32
Ph21-423	22,6	5,6	58,5	28,9	28,9	3,25
Ph21-211	40,8	5,7	21,2	21,2	22,2	1,83
Ph21-212	40,3	25,9	9,9	29,1	26,3	1,22
Средно/Average	28,4	13,2	31,0	16,7	22,3	-

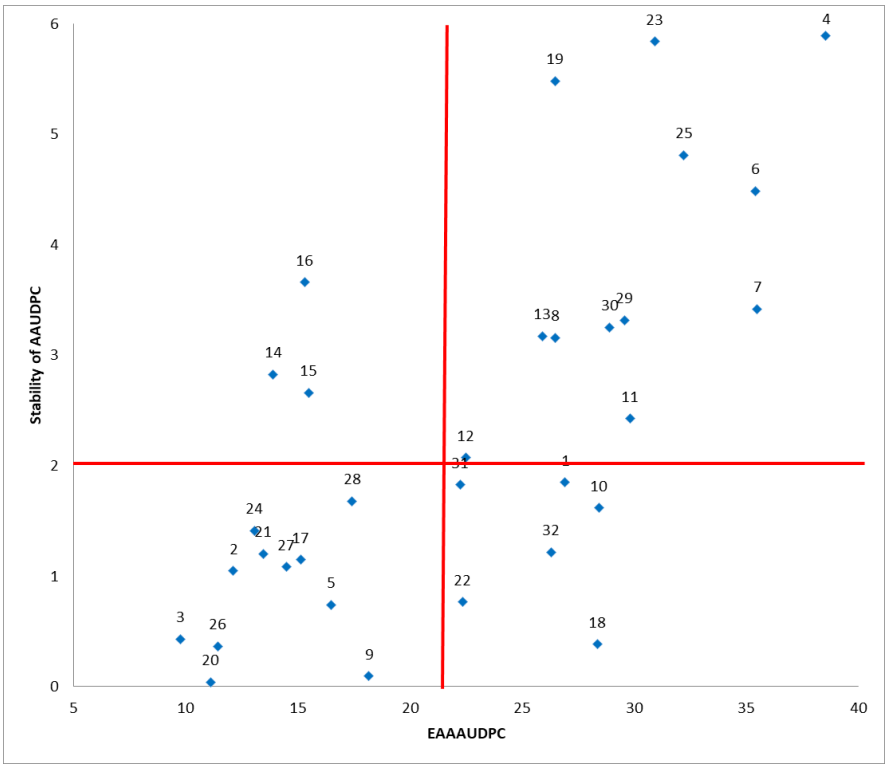
Получените резултати по отношение на моделната агресивност на използваната колекция от изолати напълно кореспондират с резултатите получени от Encheva (2006), Petrova et al. (2023) и Petrova (2024a). Нашите данни и тези на посочените автори показват, че на територията на страната са разпространени достатъчно агресивни изолати, които напълно адекватно може да бъдат прилагани при оценка на селекционни материали. Тази теза се допълва и от изследването на Damyanova-Serbezova et al. (2024), при което е отчетена агресивна реакция дори при диви родственици на слънчогледа.

Независимо от отчетената агресивна реакция, коригирана на база на контрастните условия за развитие на патогена, се наблюдава тенденция отделните изолати да реагират твърде противоречиво при различните комбинации от генотип на гостоприемника и година на отглеждане. Това ясно показва, че отделните изолати взаимодействат с условията на средата и рангуването им не е идентично както при отделните генотипове, така и при различните години. Това налага да бъде определена тяхната предвидимост, за да се установи, кои от тях ще имат достатъчно стабилна реакция при различните условия на средата.

Данните за изчисления параметър $S_{EAAAUDPC}$ показват, че най-високо предвидима реакция се наблюдава при изолатите Ph21-724, Ph21-6213, Ph21-414, Ph21-722, Ph21-611 и Ph21-613. Съответно най-слабо предвидими са изолати Ph21-612, Ph21-614, Ph21-723, Ph21-411 и Ph21-413. Тези резултати дават възможност да се формулират няколко основни тенденции. Изолатите, които се характеризират с висока моделирана агресивност имат и високи стойности на показателя $S_{EAAAUDPC}$, което показва, че високоагресивните изолати са по-малко стабилни, съответно предвидими при различни условия на средата. Валидна е и обратната тенденция, нискоагресивните изолати да се характеризират с по-висока предвидимост. Това е логична зависимост, тъй като колкото по-слаба е дадена реакция за голям брой комбинации от условия на средата, тя няма да се изменя т.е. ще бъде високопредвидима. Независимо от това се наблюдават и изолати, които съчетават компромисно висока агресивна реакция и задоволително/компромисно ниво на предвидимост. Тези комбинации най-ясно могат да бъдат демонстрирани върху биплот-графика, която съчетава стойностите на EAAUDPC и $S_{EAAAUDPC}$ (Фигура 3).

Графиката може условно да бъде разделена на 4 квадранта, които съчетават желаните стойности на двата параметъра. Първия квадрант (долу дясно) обхваща тези изолати, които се характеризират със стойности на моделираната агресивност над средната (т.е. са високоагресивни) и стойности на параметъра $S_{EAAAUDPC}$, по-ниски от средната (т.е. притежават висока предвидимост). В тази група попадат изолатите Ph21-451, Ph21-6214, Ph21-722, Ph21-231, Ph21-211 и Ph21-212. От селекционна гледна точка това е най-желаната група от изолати, тъй като тя обединява високоагресивни и предвидими реакции. Това дава възможност селекционните материали независимо от генетичната си основа и условията на средата да бъдат поставени под максимален натиск от патогена. Наличието на устойчиви генотипове слънчоглед на тези изолати би кореспондирало с висока устойчивост към патогена по принцип.

Втория квадрант (горе вдясно) включва изолати, които имат стойности на моделираната агресивност по-висока от средната, но стойности на параметъра $S_{EAAAUDPC}$, по-високи от средната (т.е. притежават ниска предвидимост). Към тази група се отнасят изолатите Ph21-612, Ph21-614, Ph21-6211, Ph21-6212, Ph21-6221, Ph21-6222, Ph21-6223,-723, Ph21-411, Ph21-413, Ph21-422 и Ph21-423. На практика, тук се групират най-агресивните изолати от изследваната колекция. От фитопатологична гледна точка това са изолатите, които предизвикват най-голяма щета върху изследваните растения и често са свързани с проява от типа „пречупено стъбло“. От селекционна гледна точка, обаче те се характеризират с голяма непредвидимост, което означава, че тази висока реакция не винаги може да бъде реа-



Фигура 3. Комбиниране на агресивност и предвидимост на изолатите изразени чрез параметрите EAAUDPC и $S_{EAAUDPC}$

Figure 3. Combining aggressiveness and predictability of isolates expressed through the parameters EAAUDPC and $S_{EAAUDPC}$

лизирана върху конкретен генотип и се влияят в значителна степен от метеорологичните условия.

Трети квадрант (горе вляво) включва само три изолата – Ph21-6224, Ph21-6231 и Ph21-6232. Те се характеризират със стойности на моделираната агресивност по-ниска от средната (т.е. те са слабоагресивни в контрастни условия на средата) и със стойности на параметъра $S_{EAAAUDPC}$, по-високи от средната (т.е. притежават ниска предвидимост). Тези изолати от селекционна гледна точка са най-нежелани, тъй като освен ниската си агресивност, тя остава и непредвидима т.е. с тях не е възможно адекватно да бъдат оценявани селекционни материали.

Последния квадрант (долу, вляво) включва изолати, които съчетават ниски стойности на моделираната агресивност и ниски стойности на показателя $S_{EAAAUDPC}$ (т.е. са с по-висока предвидимост). Тук попадат изолати Ph21-452, Ph21-611, Ph21-613, Ph21-6213, Ph21-721, Ph21-724, Ph21-241, Ph21-412, Ph21-414, Ph21-415 и Ph21-421. Заедно с втората група формират основната група изолати, които се подчиняват на тенденцията, че високата агресивност съчетава ниска предвидимост. Тази тенденция не е характерна само за тази конкретна фитопатогенна проява. Величината на добива при културните растения често следва тази тенденция, за което свидетелстват значителен брой изследвания (Напр. Tsenov et al., 2013; Tsenov and Gubatov, 2018; Stoyanov, 2018; Stoyanov and Baychev, 2023; Stoyanov, 2024).

От изследваните изолати един съчетава висока агресивност и предвидимост и попада в дъното на първия квадрант – Ph21-722. От селекционна гледна точка този изолат е най-подходящ за изпитване на чувствителност към патогена на сивите петна по слънчогледа от изследваната колекция и е потенциален стандартен изолат при работа с патогена в страната.

Изследването на Stoyanov (2021) показва, че прилагането на модела EAYM е адекватно и ефективно за оценка на добива, тъй като приложимостта му се доказва при сравняване със стандартните модели за стабилност, намерили най-голямо приложение при изследване на фенотипната стабилност на добива – тези на Eberhart and Russell (1966), Shukla (1976), Wricke (1972) и чрез проведен AMMI анализ по Gauch (1992). Приложимостта на модела бива потвърдена и от друго наше изследване при тритикале (Stoyanov, 2024) и при обикновената зимна пшеница Stoyanov (2025, in press). Въпреки това, моделът не е намирал

Таблица 3. Предвидимост на изследваните изолати по тяхната агресивност изразена чрез параметрите за стабилност и адаптабилност

Table 3. Predictability of the studied isolates in terms of their aggressiveness expressed through the stability and adaptability parameters

Изолат/Isolate	b_i	s^2d_i	σ^2_i	W_i^2	IPCA1	$S_{EAAAUDP}C$	ARE
Ph21-451	1,75	7,51	36,96	114,04	1,17	1,85	11
Ph21-452	-0,88	1,24	135,08	390,00	-1,90	1,05	19
Ph21-611	0,28	3,42	24,72	79,58	-0,49	0,43	4
Ph21-612	2,99	59,17	296,22	843,20	3,14	5,89	32
Ph21-613	-0,57	11,17	118,99	344,73	-1,16	0,74	17
Ph21-614	3,39	0,45	217,05	620,52	2,45	4,49	27
Ph21-6211	2,50	40,68	183,93	527,39	1,19	3,42	26
Ph21-6212	-0,35	88,49	286,83	816,78	-2,59	3,16	31
Ph21-6213	0,05	2,14	36,53	112,80	-1,15	0,09	6
Ph21-6214	1,75	6,28	33,88	105,37	0,47	1,62	7
Ph21-6221	1,30	44,53	110,75	321,56	1,26	2,43	18
Ph21-6222	1,81	2,85	28,90	91,35	1,03	2,07	8
Ph21-6223	1,97	26,29	98,07	285,89	1,44	3,17	22
Ph21-6224	0,83	17,91	42,18	128,70	0,42	2,83	11
Ph21-6231	1,03	16,99	38,75	119,07	-0,52	2,66	9
Ph21-6232	-1,17	16,35	218,27	623,95	-2,16	3,66	29
Ph21-721	1,14	0,31	-2,09	4,19	0,20	1,15	1
Ph21-722	0,43	11,17	36,63	113,10	-0,38	0,38	5
Ph21-723	1,10	86,66	212,49	607,71	-1,14	5,49	23
Ph21-724	0,15	0,27	24,96	80,27	-0,90	0,04	3
Ph21-241	-0,09	16,02	82,52	242,15	-1,09	1,20	14
Ph21-231	1,14	2,34	2,95	18,37	0,17	0,77	2
Ph21-411	3,08	15,71	201,71	577,39	2,69	5,84	29
Ph21-412	-0,46	13,91	112,99	327,85	-1,46	1,41	20
Ph21-413	2,80	26,27	187,34	536,95	2,57	4,81	28
Ph21-414	-0,06	5,21	52,79	158,55	-1,38	0,37	13
Ph21-415	0,17	17,28	66,23	196,34	-1,43	1,08	15
Ph21-421	0,31	31,69	93,71	273,64	-1,31	1,68	16
Ph21-422	2,69	0,84	108,36	314,84	1,65	3,32	21
Ph21-423	1,94	42,86	136,91	395,13	1,66	3,25	25
Ph21-211	1,37	18,20	47,05	142,40	-0,13	1,83	10
Ph21-212	-0,38	38,62	166,39	478,03	-2,32	1,22	24

приложение при оценка на агресивност на изолати от фитопатогенни организми. С цел да бъде потвърдена адекватността на неговото прилагане към настоящата изследвана колекция от изолати на *Phomopsis helianthi*, са изчислени и показателите за стабилност по методите споменати по-горе (Таблица 3).

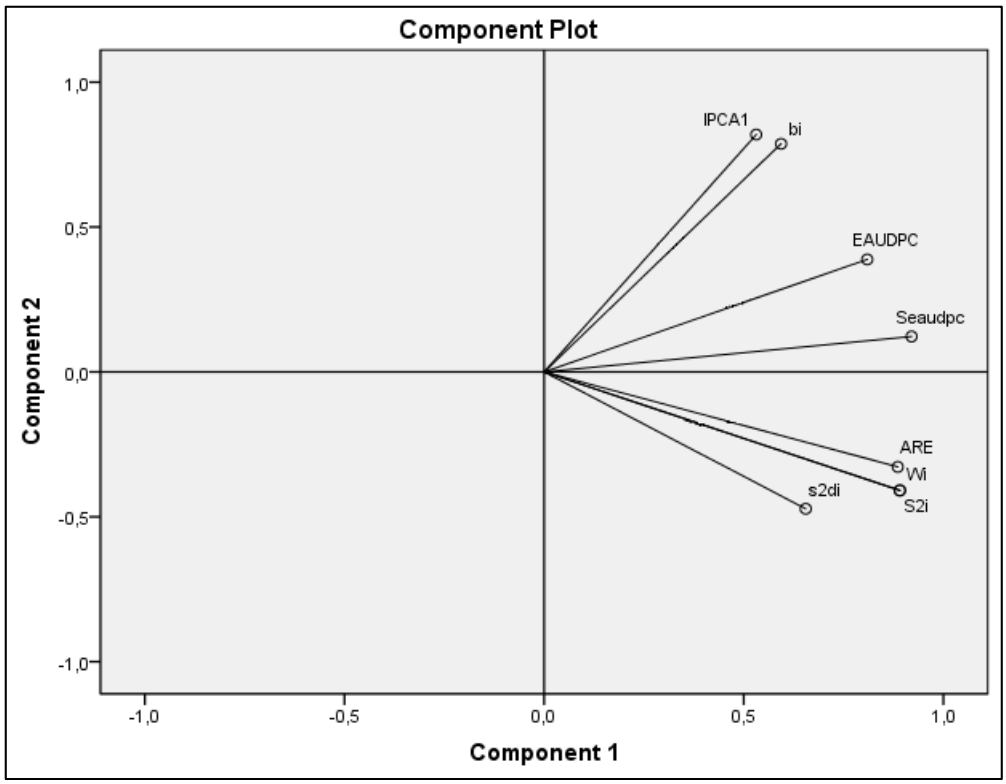
Регресионният коефициент (b_i) показва, че с най-широка реакция към комбинацията от генотип на гостоприемника и условия на годината са изолатите Ph21-6224, Ph21-6231 и Ph21-721. Съответно с тясна реакция към по-благоприятните за патогена условия са Ph21-614, Ph21-411 и Ph21-422. Тясна реакция, но към неблагоприятни за патогена условия се наблюдава при изолати Ph21-611, Ph21-6213 и Ph21-421. Изолати, чиято реакция няма отношение към измененията в условията на средата съгласно стойностите на b_i са Ph21-452, Ph21-613, Ph21-6212, Ph21-6232, Ph21-241, Ph21-412, Ph21-414 и Ph21-212.

По отношение на средноквадратичното отклонение от регресията (s^2d_i) като най-предвидими може да бъдат определени изолати Ph21-614, Ph21-721 и Ph21-724, а като най-непредвидими – Ph21-612, Ph21-6212 и Ph21-723. Вариансът на Shukla (σ^2_i) и стойностите на ековаленса (W_i^2) показват, че най-стабилна е реакцията на изолатите Ph21-611, Ph21-721 и Ph21-231, а най-нестабилна при Ph21-612, Ph21-6212 и Ph21-6232. Донякъде е сходна и реакцията произтичаща от взаимодействието изолат х среда на база на AMMI анализа. Стойностите на IPCA1, показват, че най-слабо взаимодействат със средата изолати Ph21-721, Ph21-231 и Ph21-211, а най-силно – Ph21-612, Ph21-6212 и Ph21-411.

Средната рангова оценка (ARE), която е изчислена спрямо всички включени в изследването показатели за стабилност/предвидимост демонстрира, че най-предвидими по своята реакция са изолати Ph21-721, Ph21-724 и Ph21-231, а с най-непредвидима реакция са Ph21-612, Ph21-6212, Ph21-6232 и Ph21-411.

Получените стойности показват, че всички изследвани показатели следват идентични тенденции по отношение на предвидимостта на колекцията от изолати използвана в настоящото проучване. Не се различават значително данните получени от показателя за стабилност $S_{EAAAUDPC}$ при прилагането на модела EAYM от данните за всички останали показатели, свързани с определянето на предвидимостта/стабилността на изолатите. Това показва, че получените от нас резултати по отношение на тези изолати, които комбинират висока агресивна реакция при условията на изследването и високопредвидима реакция независимо от тествания генотип са достатъчно адекватни. Поради тази причина моделът може ефективно да бъде използван и при оценка на други количествени параметри от селекционно и фитопатологично естество. Тази теза се доказва и от приложения анализ на основните компоненти. Ясно може да се проследи на графиката (Фигура 4), че векторът на показателя $S_{EAAAUDPC}$ се намира в близост до векторът на средната рангова оценка, вариансът на Shukla и ековаленса. От друга страна векторите на регресионния коефициенти и на показателя IPCA1 корелират в по-малка степен. Независимо от това, нашите данни се потвърждават от изследванията на Petrova (2024a), които показват, че прилагането на AMMI също може да бъде използвано за оценка на агресивното разнообразие на *Phomopsis helianthi* и да бъде оценена предвидимостта на реакцията на колекция от изолати.

Освен горецитираното изследване, в световната литература няма съобщения за изследване на стабилност/предвидимост на изолати от който и да е било вид от патогените от род *Phomopsis*. Стабилността на фитопатогенната реакция е въпрос, който е слабо проучен както у нас, така и в международен аспект. Abou Al Fadil et al. (2006) проследяват стабилността на колекция от изолати на патогена *Phoma macdonaldii* като показват, че се наблюдава разнообразни по стабилност реакции в зависимост от изследвания генотип на гостоприемника. Uthede et al. (1982) демонстрират, че средата има сериозно значение и взаимодейства достоверно с генотипа на



Фигура 4. Взаимовръзка между параметрите за стабилност и моделната агресивност EAAUDPC
Figure 4. Relationship between stability parameters and model aggressiveness EAAUDPC

гостоприемника при изследване на патогена *Sclerotium cepivorum* върху лук при условията на Северна Америка и Европа. Авторите изтъкват, че това е причина за разнообразна стабилност в реакцията към заболяването. Оскъдните данни в литературата дават основание изследванията в тази област да бъдат продължени, особено при патогени като *Phomopsis helianthi*, които имат сериозно икономическо значение при отглеждането на слънчоглед.

ИЗВОДИ

На база на така представените резултати, могат да бъдат направени следните изводи:

1. За пръв път е приложен моделът EAYM върху резултати за агресивната реакция на изолати от патогена на сивите петна по слънчогледа *Phomopsis helianthi* при два различни генотипа и два контрастни периода на изследване.

2. Най-висока моделна агресивност е отчетена при изолатите Ph21-612, Ph21-614, Ph21-6211, Ph21-411 и Ph21-413, а най-ниски стойности се наблюдават при изолатите Ph21-611, Ph21-724 и Ph21-414. Най-ниска е средната реакция на всички изолати при сорт Фаворит за 2023 година, а най-висока е тази при хибрид Деведа за стопанската 2022 година.

3. Най-високо предвидима реакция на база на моделния параметър $S_{EAAAUDPC}$ се наблюдава при изолатите Ph21-724, Ph21-6213, Ph21-414, Ph21-722, Ph21-611 и Ph21-613. Съответно най-слабо предвидими са изолати Ph21-612, Ph21-614, Ph21-723, Ph21-411 и Ph21-413.

4. Изолатите Ph21-451, Ph21-6214, Ph21-722, Ph21-231, Ph21-211 и Ph21-212 обединяват високоагресивна и предвидима реакция, което дава възможност селекционните материали независимо от генетичната си основа и ус-

ловията на средата да бъдат поставени под максимален натиск от патогена и оценявани с по-голяма адекватност.

5. Прилагането на модела EAYM има достоверен характер, което се потвърждава от високата корелация на показателя $S_{EAAAUDPC}$ с възприетите в практика подходи и методи за оценка на стабилност. Това прави модела достатъчно ефективен за внедряването му в практическата селекция на слънчоглед към икономически важни заболявания.

ЛИТЕРАТУРА

Abou Al Fadil, T., Darvishzadeh, R., Alignan, M., Poormohammad Kiani, S., Jardinaud, M. F., & Dechamps-Guillaume, G. (2006). Adaptability and virulence specificity in French isolates of *Phoma macdonaldii* on sunflower. *Journal of Genetics and Breeding*, *60*(3), 217.

Christov, M., Piskov, A., Encheva, J., Valkova, D., Drumeva, M., Nenova, N. & Georgiev, G. (2009). Developing Sunflower Hybrid Cultivars with Increased Productivity, Resistant to Disease and Broomrape Using Classical and Biotechnological Methods. *Sci.-Tech. Bull. IOC*, 14, 74-87.

Damyanova-Serbezova, R., Petrova, M., Valkova, D., & Drumeva, M. (2024). Testing of spicement of wild sunflower spicies for rezistence to *Phomopsis helianthi*. *Bulgarian Journal of Crop Science*, 61(2), 20-28 (Bg).

Didenko, A. (2015). *Biological bases of development and control of the pathogen of sunflower phomopsis in the conditions of Krasnodar region*. Dissertation.

Eberhart, S.A. & Russell, W.A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci*., 6: 36-40.

Encheva, V. (2002). Variation in the aggressiveness of isolates from *Phomopsis/Diaporthe helianthi* Munt.-Cvet. et al. on sunflower. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 8(4), 349-352

Encheva, V. & Kiryakov, I. (2002). A method for evaluation of sunflower resistance to *Diaporthe/Phomopsis helianthi* Munt. Cvet. et al. *Bulg. J. Agric. Sci*., 8: 219-222.

Encheva, V. (2006). Study on the response of own and foreign hybrids to the cause agents of black (*Phoma macdonaldii*) and gray (*Phomopsis helianthi*) spots on sunflower. *Plant Science*, 43, 5, 446-450.

Entcheva, V., Valkova, D., & Shindrova, P. (2014). Screening of wild Helianthus species for resistance to *Orobanche cumana* Wallr. and *Phomopsis helianthi* Munt.-Cvet. et al. *In Third International Symposium On Broomrape (Orobanche Spp.) In Sunflower. Session 3: Genetic Resistance to Sunflower Broomrape*, 201-206.

Gauch, H.G. (1992). *AMMI Analysis of Factorial Designs. Statistical analysis of regional yield trials*. Elsevier, New York

Lancashire, P. D., Bleiholder, H., Boom, T. V. D., Langelüddeke, P., Stauss, R., Weber, E., & Witzenberger, A. (1991). A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of applied Biology*, 119(3), 561-601.

Mathew, F. M., Alananbeh, K. M., Jordahl, J. G., Meyer, S. M., Castlebury, L. A., Gulya, T. J., & Markell, S. G. (2015). Phomopsis stem canker: A reemerging threat to sunflower (*Helianthus annuus*) in the United States. *Phytopathology*, 105(7), 990-997.

Nikolova, L., & Encheva, V. (1994). Study of the *Diaporthe (Phomopsis) helianthi* resistane in some annual *Helianthus* species. *In Proc. Symp. Eucarpia*, pp. 178-181.

Petrova, M., Encheva, V. & Valkova, D. (2021). Study on the reaction of *Helianthus debilis* accessions to *Phomopsis helianthi* Munt.-Cvet. *Field Crops Studies*, XIV (2-3-4), 137-142.

Petrova, M., Nenova, N., & Encheva, V. (2023). Study on aggressiveness to isolates of *Phomopsis/ Diaporthe helianthi* Munt. – Cvet. et al. on sunflower under field conditions. *Bulgarian Journal of Crop Science*, 60(4), 53-58

Petrova, M. (2024a). *Study of grey spots on sunflower (Phomopsis helianthi Munt.-Cvet et al.) in Bulgaria*. PhD Thesis.

Petrova, M. (2024b). Influence of host Phenophase on the Aggressiveness of *Phomopsis helianthi* (Munt.-Cvet. Et al.) isolates. *Journal of Mountain Agriculture on the Balkans*, 27, 5, 263–277.

Petrova, M., & Kiryakov, I. (2024). Mycelial compatibility of *Phomopsis helianthi* (Munt.-Cvet. et al.) isolates. *Bulgarian Journal of Crop Science*, 61(4), 16-24 (Bg).

Shukla, G.K. (1972). Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity*, 29: 237-245.

Simko, I., & Piepho, H. P. (2012). The area under the disease progress stairs: calculation, advantage, and application. *Phytopathology*, 102(4), 381-389.

Skoric, D. (2012). Sunflower breeding. In: Skoric, D. (editor), *Sunflower genetics and breeding.* Serbian Academy of Sciences and Arts, Novi Sad, Serbia, 165-354.

Stoyanov, H., Baychev, V., Petrova, T., & Mihova, G. (2017). Triticale cultivars suitable for growing under high level of abiotic stress. *Journal of Mountain Agriculture on the Balkans (JMAB)*, 20(6), 223-242.

Stoyanov, H. (2018). *Reaction of Triticale (xTriticosecale Wittm.) to Abiotic Stress*. PhD Thesis, General Toshevo, Bulgaria (Bg).

Stoyanov, H. (2021). Environment Adjusted Yield Model for Ranking and Stability Assessment of Winter Triticale (X *Triticosecale* Wittm.) Genotypes. *International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research*, 5(1), 141-157

Stoyanov, H., & Baychev, V. (2023). Achievements and tendencies in the breeding of triticale (×*Triticosecale* Wittm.) in Bulgaria. *Bulgarian Journal of Crop Science/Rastenievdni Nauki*, 60(4), 3-16.

Stoyanov, H. (2024). Productivity and Stability Characteristics of Winter Hexaploid Triticale Cultivars with Different Geographical Origins. I. Real Yield Features. *Journal of Mountain Agriculture on the Balkans*, 27, 6, 220–244.

Tsenov, N., Atanasova, D. & Gubatov, T. (2013). Genotype x environment effects on the productivity traits of common wheat. I. Nature of interaction. *Scientific Works of Institute of Agriculture – Karnobat*, 3(1): 57-70.

Tsenov, N. & Gubatov, T. (2018). Comparison of basic methods for estimating the size and stability of grain yield in winter wheat. *Rastenievadni nauki*, 55(6), 9-19 (Bg).

Utkhede, R. S., Rahe, J. E., Smith, J. C., Meer, Q. V. D., Brewer, J. G., & Criscola, V. (1982). Genotype-environment interactions for resistance to onion white rot. *Canadian Journal of Plant Pathology*, *4*(3), 269-271.

Valkova, D., Nenova, N., Encheva, V., & Encheva, J. (2015). Creation of lines restorers of fertility originating from interspecific hybrids. **Agricultural sciences**, VII, 18, 75-79.

Valkova, D., Nenova, N., Encheva, V., & Encheva, J. (2016). Hybridization between cultivatedsunflower and wild annual species Helianthus neglectus Heiser. *In Proceedings 19th Intern. Sunflower Conference*, Vol. 29, pp. 454-459.

Valkova, D., Penchev, E., & Encheva, V. (2017). Hybridization between cultivated sunflower and wild species **Helianthus praecox** Engelm. & Gray. *Bulgarian Journal of Crop Science/Rastenievdni Nauki*, 54(4).

Weber, E., & Bleiholder, H. (1990). Explanations of the BBCH decimal codes for the growth stages of maize, rape, faba beans, sunflowers and peas-with illustrations. 308-321.

Wricke, G. (1962). Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*, 47: 92-96.

Received: April, 16, 2025; *Approved:* June, 20, 2025; *Published:* August, 2025