

ORIGINAL PAPER

## Взаимодействие генотип-среда и стабилност на сортове фуражен граф (*Pisum sativum* L.)

Валентин Косев<sup>1</sup> • Наталия Георгиева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт по фуражните култури, Плевен; ул. "Генерал Владимир Вазов" 89

Автор за кореспонденция: Наталия Георгиева; E-mail: [imnatalia@abv.bg](mailto:imnatalia@abv.bg)

## Genotype-environment interaction and stability in forage pea cultivars (*Pisum sativum* L.)

Valentin Kosev<sup>1</sup> • Natalia Georgieva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Forage Crops, Pleven, "General Vladimir Vazov" str. 89, Bulgaria

Corresponding Autor: Nataliya Georgieva; E-mail: [imnatalia@abv.bg](mailto:imnatalia@abv.bg)

Received: September 2018 / Accepted: September 2018 /

Published: September 2018 © Author(s)

### Abstract

*Kosev, V. & Georgieva, N. (2018). Genotype-environment interaction and stability in forage pea cultivars (Pisum sativum L.). Field Crops Studies, XI(1), 25-38.*

A subject of the present study was an assessment of the impact of the environment conditions on the productivity and stability of forage pea cultivars (Svit, Kamerton, Modus, Glyans, Pleven 4). The experimental activity was conducted during the period 2012-2014 in IFC-Pleven. It was found significant distinctness of the cultivars regarding their genetic identity, as well as significant influence of the genotype, environment and their interaction on the grain yield. The influence of the factor of environment had the largest share in the overall variation. The phenotypic stability of the cultivars was assessed with three types of parameters – variance of Shukla (1972), parameter "Di" of Hanson (1970) and non-parametric ones of Nassar and Huehn (1987) (Si(1), Si(2), Si(3), Si(6)), and Thennarasu (1995) (NPi(1), NPi(2), NPi(3), NPi(4)). Cultivars Svit and Kamerton were determined as environmentally stable and with relatively high productivity. They are suitable for growing in a wide range of environmental conditions. Glyans was the most productive, with good adaptive ability and responsiveness to improving cultivation conditions. As low-productive and unstable cultivars can be characterized Modus and Pleven 4.

**Key words:** Genotype-environment, Pea, Stability, Productivity

## Въведение

Търсенето на генотипове с висок и стабилен добив е ключов аспект в селекционните програми, целящи получаването на нови форми с висока продуктивност и подходящи за различни условия и райони на отглеждане. Взаимодействието генотип  $\times$  среда ( $G \times E$ ) оказва силно влияние върху проявите на признаците, което прави изборът на подходящ генотип още по-труден и комплексен. Оценката на това взаимодействие може да се използва за идентификация генотипове с висок продуктивен потенциал и фенотипна стабилност в различни среди (Bornhofen et al., 2017).

В научната литература са описани различни методи за определяне на стабилността и изследване продуктивността на генотиповете. Тези методи се различават по параметрите за оценка на фенотипната стабилност и интерпретацията на статистическите данни. Подобни проучвания, сравняващи различни методи, са осъществени при пшеница (Bornhofen et al., 2017), царевица (Cargnelutti Filho et al., 2009), фасул (Pereira et al., 2009), соя (Polizel et al., 2013) и др. Сред основните методи, използвани за оценка на стабилността, са непроменливите параметрични модели (Wricke, 1965; Eberhart and Russell, 1966), многовариантни параметрични модели (Zobel et al., 1988; Binns, 1988) и смесени модели (Resende, 2006).

Фенотипната стабилност може да бъде разделена на два основни типа – стабилност в биологичен и агрономичен смисъл. Стабилността в биологичния (статичен) смисъл се отнася до способността на генотипите да поддържат постоянно производство в различни среди, с ниска вариация между тях, т.е. проявявайки „хомеостаза“. Стабилността в агрономичния (динамичен) смисъл показва, че генотипът реагира положително на подобренията в едафоклиматичните условия на околната среда с прояви над средното ниво в различни екологични условия (Sabaghnia et al., 2015).

Като „поведение“ на растителния организъм фенотипната стабилност определено има съществено значение за производството и практиката. Важно за селекционерите е да прилагат подходящи методи, обвързващи стабилността на образците с висока продуктивност. Сред различните методи, широко приложение намира GGE biplot анализа, позволяващ да се анализират генотиповете, като се има предвид средната им продуктивност и стабилността на признака. Комбинацията от тези две понятия при определени стойности се дефинира като „идеален генотип“ (Yan et al., 2007; Yan, 2016). Много автори използват корелационен анализ за сравняване на резултатите, получени при различните методи. Тази методология за сравнение се основава на рангове. Не е известно и е дискуссионно обаче, дали прилаганите методи осигуряват последователен резултат при различни години на изследванията (Milioli et al.,

2018).

Целта на проучването е оценка на фенотипната стабилност на сортове фуражен грах по комплекс от параметри по отношение на добив на зърно.

## Материали и методи

Експерименталната дейност е осъществена в Институт по фуражните култури – Плевен, през периода 2012-2014 г. Проучени са 5 сорта пролетен фуражен грах - Свит, Камертон, Модус, Глянс (с произход Украйна) и българският сорт Плевен 4. Използван е рандомизиран блоков метод, в трикратна повторност на вариантите. Сеитбата е ръчна, с норма 120 семена на  $m^2$ . Растенията са отглеждани в условия на биологично производство, без използване на торове и пестициди. Добивът на зърно е отчетен във фаза техническа зрелост.

За статистическа обработка на данните е приложен анализ на варианса, за установяване ефектите на генотиповете (сортовете) (G), средите (E) (години) и взаимодействието генотип  $\times$  среда (G  $\times$  E). Използван е клъстерен анализ за групиране на сортовете по генетично сходство (Ward, 1963). Като мярка за отдалеченост е използвано евклидово разстояние.

Фенотипната стабилност на генотиповете по признака добив на зърно е оценена по следните параметри – вариансен ( $\sigma^2$ ) на Shukla (1972), параметър “ $D_i$ ” на Hanson (1970) и непараметрични ( $S_i^{(1)}, S_i^{(2)}, S_i^{(3)}, S_i^{(6)}$ ) на Nassar и Huehn (1987) и ( $NP_i^{(1)}, NP_i^{(2)}, NP_i^{(3)}, NP_i^{(4)}$ ) на Thennarasu (1995). Hanson (1970) използва параметъра “ $D_i$ ”, според който генотиповете с най-ниски стойности на “ $D_i$ ” са екологично стабилни, а тези с най-високи стойности са съответно най-нестабилни. Nassar и Huehn (1987) предлагат четири непараметрични измервания на фенотипната стабилност: (1) като  $Si(1)$  е средната стойност на абсолютните рангови различия на генотипа в  $n$ -та среда, (2)  $Si(2)$  е разликата между редиците, (3)  $Si(3)$  и (4)  $Si(6)$  са сумата от абсолютните отклонения и сумата от квадратите на редиците за всеки генотип спрямо средната стойност на редиците. Thennarasu (1995) предлага непараметрични статистически данни  $NP_i(1), NP_i(2), NP_i(3)$  и  $NP_i(4)$  въз основа на коригираните средни стойности на генотиповете по съответните признаци като онези, чиято позиция спрямо останалите остана непроменена в набор от среди, се оценяват като стабилни. Данните са обработени статистически чрез програмния продукт PVBSTAT 1.2 for Windows.

## Резултати и обсъждане

### *Дисперсионен анализ*

Фенотипната стабилност по важни стопански признаци като добив зърно

е от съществено значение при оценка на растителни образци. Условията на годините са непредвидими и влияят в голяма степен върху количественото изражение на признака. В условията на настоящия експеримент средата оказва съществено влияние (62.09%) върху фенотипното проявление на изследвания показател. Резултатите от дисперсионния анализ на добива потвърждават (Таблица 1) различията в условията по години. Влиянието на генотиповете е доказано, но по-слабо изразено (21.30%) в сравнение с това на годините. Установява се и достоверно влияние на взаимодействието генотип × среда (16.61%), което налага необходимостта от по-детайлен анализ на наблюдаваното взаимодействие. Подбраните сортове реагират по различен начин на промяна на условията на средата (Фигура 1) и тази реакция е конкретна за всеки един от тях.

Таблица 1. Комбинирана „Anova” с „AMMI” анализ по отношение на добив зърно при сортове грах (2012 - 2014)

Table 1. Combined Anova with AMMI analysis for pea grain yield (2012 - 2014)

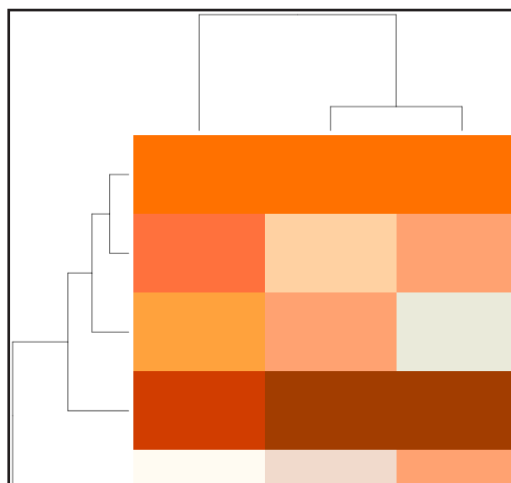
Source of variation	Df	Sum of squares	% from total	Mean Square	F value	Pr (>F)
ENV	2	123348	62.09	61674***	66.1	8.184E <sup>-05</sup>
REP(ENV)	6	5598		933	1.57	0.1995
GEN	4	42309	21.30	10577**	2.56	0.1199
ENV:GEN	8	33018	16.61	4127***	6.94	9.812E <sup>-05</sup>
PC1	5	30771		6154***	10.34	2.2E <sup>-16</sup>
PC2	3	2247		749	1.26	0.3104
Residuals	24	14278		595		

Significance: \*\*\*0.001; \*\*0.01

### ***Анализ на екологичната стабилност***

Чрез използваните в изследването модели се определят основно генотипове, които имат динамична (агрономическа) стабилност. При динамичната стабилност генотипът се променя по предвидим начин в широк диапазон от условия на околната среда. При такава стабилност не се изисква генотипният отговор към условията на средата да бъде еднакъв при всички генотипове. Стабилните генотипове според тази концепция са по-отзивчиви към подобрените условия на околната среда. При статичната (биологичната) стабилност състоянието на генотипа остава непроменено, независимо от условията на околната среда и показва постоянно действие във всички среди. В тази концепция за стабилност, стабилните генотипове не отговарят по-добре на подобрените условия на околната среда, поради което за стабилните генотипове според тези параметри се препоръчват места, където условията на отглеждане са неблагоприятни. Тази концепция за стабилност е полезна за

качествени признаци, устойчивост на биотични стресови фактори.



1-2012; 2 - 2013, 3 – 2014

Фигура 1. „G×E heatmap” карта на генетичното сходство на проучваните сортове грах

Figure 1. G×E heatmap

Таблица 2. Параметри на стабилност по отношение на добива зърно при сортове грах

Table 2. Stability parameters for pea grain yield

Genotype	$Y_i$	$D_i$	StabVar	$YS_i$	$S_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	$S_i^{(3)}$	$S_i^{(6)}$	TOP	$NP_i^{(1)}$	$NP_i^{(2)}$	$NP_i^{(3)}$	$NP_i^{(4)}$
Glyans	271.33	90.79	734.74	8.00+	2.00	2.33	0.00	0.00	3.00	1.00	1.00	1.25	2.00
Svit	247.89	90.68	-762.33	5.00+	1.33	1.00	0.00	0.00	3.00	0.67	0.33	0.41	0.67
Kamerton	231.56	90.68	968.33	4.00+	2.00	3.00	0.18	0.36	1.00	1.00	0.25	0.39	0.55
Modus	215.67	94.67	834.52	1.00	2.00	2.33	0.50	0.50	1.00	1.00	0.25	0.31	0.50
Pleven 4	180.33	93.51	18861.07	-10.00	2.67	5.33	0.62	0.62	1.00	1.33	0.27	0.44	0.62

$Y_i$ : Mean response;  $YS_i$ : yield and stability index of Kang (1993); '+': selected genotypes having  $YS_i >$  mean of 1.6;  $D_i$ : genotypic stability parameter of Hanson (1970); StabVar: stability variance ( $\sigma^2$ ) of Shukla (1972);  $S_i^{(1)}$ ,  $S_i^{(2)}$ ,  $S_i^{(3)}$ ,  $S_i^{(6)}$ : nonparametric stability parameters of Nassar and Huehn (1987); TOP: Fox's TOP - number of sites at which the genotype occurred in the top third of the ranks;  $NP_i^{(1)}$ ,  $NP_i^{(2)}$ ,  $NP_i^{(3)}$ ,  $NP_i^{(4)}$ : nonparametric stability parameters of Thenarasu (1995)

Използваните методи (Таблица 2) дават възможност за оценка на екологичната стабилност на сортовете и са приложими при условие, че е статистически достоверно взаимодействието генотип × среда. Идеал за екологично стабилен сорт е този, чиито стойности на параметрите на стабилност са по-ниски и непроменящи се съществено рангове (Таблица 3),

а продуктивността им е висока. За изследвания период съгласно критериите за стабилност на Thennarasu (1995) и Hanson (1970) сортовете Свит ( $NP_i(1)=0.67$ ;  $NP_i(2)=0.33$ ;  $NP_i(3)=0.67$ ;  $NP_i(4)=0.41$ ;  $Di=90.68$ ) и Камертон ( $NP_i(1)=1.00$ ;  $NP_i(2)=0.25$ ;  $NP_i(3)=0.39$ ;  $NP_i(4)=0.55$ ;  $Di=90.68$ ) се проявяват като екологично стабилни и сравнително високопродуктивни. Оценката на сортовете по признака добив на зърно чрез параметрите на стабилност определя Свит като най-близък до идеала за сорт. Известна колебливост относно пластичността проявява Глянс, който по използваните критерии на стабилността ( $NP_i(1)=1.00$ ;  $NP_i(2)=1.00$ ;  $NP_i(3)=1.25$ ;  $NP_i(4)=2.00$ ;  $Di=90.79$ ) се доближава до сорт Камертон. Сорт Модус и особено Плевен 4 се характеризират с ниско ниво на екологична стабилност и слаба продуктивност на зърно.

Таблица 3. Рангове на стабилност по отношение на добива зърно при сортове грах

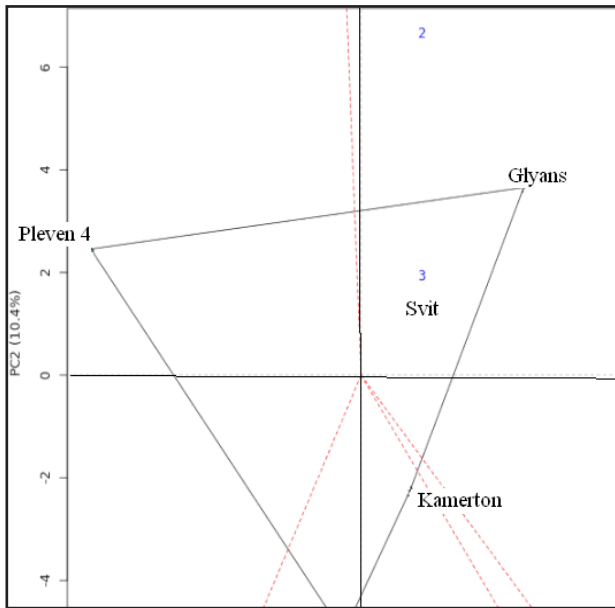
Table 3. Stability ranks for pea grain yield

Genotype	$Y_i$	Stab Var	$YS_i$	$S_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	$S_i^{(3)}$	$S_i^{(6)}$	TOP	$NP_i^{(1)}$	$NP_i^{(2)}$	$NP_i^{(3)}$	$NP_i^{(4)}$
Glyans	1.00	2.00	1.00	3.00	2.50	1.50	1.50	1.50	3.00	5.00	5.00	5.00
Svit	2.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.50	1.50	1.50	1.00	4.00	3.00	4.00
Kamerton	3.00	4.00	3.00	3.00	4.00	3.00	3.00	4.00	3.00	1.50	2.00	2.00
Modus	4.00	3.00	4.00	3.00	2.50	4.00	4.00	4.00	3.00	1.50	1.00	1.00
Pleven 4	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.00	5.00	3.00	4.00	3.00

$Y_i$ : Mean response; StabVar: stability variance ( $\sigma^2$ ) of Shukla (1972);  $YS_i$ : yield and stability index of Kang (1993);  $S_i^{(1)}$ ,  $S_i^{(2)}$ ,  $S_i^{(3)}$ ,  $S_i^{(6)}$ : nonparametric stability parameters of Nassar and Huehn (1987); TOP - number of sites at which the genotype occurred in the top third of the ranks;  $NP_i^{(1)}$ ,  $NP_i^{(2)}$ ,  $NP_i^{(3)}$ ,  $NP_i^{(4)}$ : nonparametric stability parameters of Thennarasu (1995)

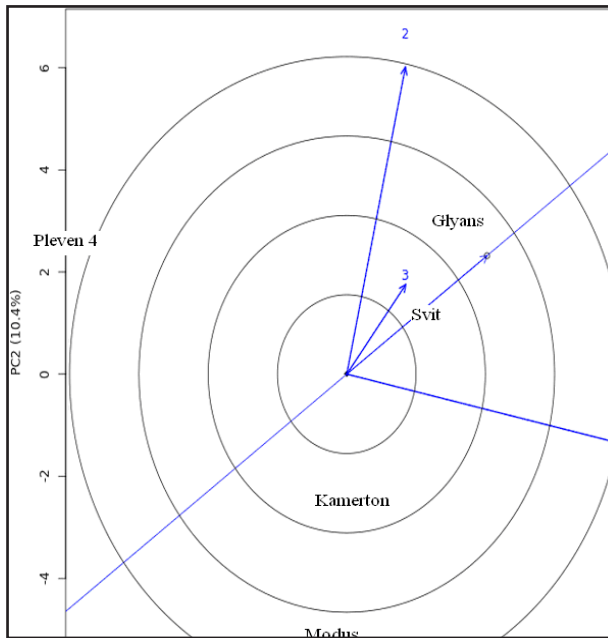
### **GGE biplot анализ**

Според GGE biplot метода, идеален генотип е този, който се характеризира с висок среден добив и висока стабилност. Този метод е приложим независимо от броя на генотиповете, включени в анализа, и се счита за надежден когато се използват данни, включващи ниско- и високопродуктивни генотипове. В настоящия модел на анализа (Фигура 2) са представени само два основни компонента (PC1 и PC2), като по този начин в най-голяма степен се подчертават закономерностите в поведението на вариантите и се отстраняват ненужните данни. Когато факторите, на които може да бъде разпределено варирането са повече от два, влиянието им върху дадения признак е нелинейно, което означава, че при промяна на условията за формиране на признака част от сортовете може да не реагират положително или да променят своите стойности в обратна на условията посока.



Фигура 2. GGE biplot, визуализиращ проявите на генотиповете в съответните среди

Figure 2. GGE biplot: which-won-where



Фигура 3. GGE biplot, основан на генотип-центрирано мащабиране, за сравняване на генотиповете с „идеален“ генотип

Figure 3. GGE biplot: mean, stability, and ideal genotype

Принципният компонентен анализ, извършен за трите среди (години) на отглеждане показват, че първите основни компонента PC определят 98.0% от общото вариране на признака в резултат на взаимодействието генотип  $\times$  среда. Първият компонент обяснява 88.30%, а вторият – 10.40% от това взаимодействие. Сортовете, които имат по-високи стойности на PC1 се характеризират с по-висока продуктивност. Според разположението си спрямо PC2 (ординатната ос), генотиповете с по-ниски стойности проявяват по-добра фенотипна стабилност. От друга страна, генотиповете, разположени в по-отдалечените концентрични кръгове, проявяват ясно изразена нестабилност на добива. В този смисъл, местоположението на сортовете Модус и Плевен 4 ги представя като нестабилни и нископродуктивни (Фигура 3). В противовес, Свит и Камертон като разположени в по-близките до центъра концентрични кръгове са и най-стабилни. Според получените резултати най-високопродуктивният сорт Глянс притежава определена отзивчивост към условията на средата и по отношение на стабилността на добива заема трета позиция.

### ***Корелационен анализ***

За подобряване на сортовете в хода на селекционния процес, както и за тяхното успешно райониране в конкретни условия на средата, е необходимо да се познават корелациите между признака и параметрите на взаимодействието генотип  $\times$  среда. В условията на настоящото проучване се установяват високи, но недостоверни корелациите (Таблица 4) между TOP ( $r=0.87$ ), StabVar ( $r=0.80$ ), Si(1), Si(2), NPi(1) ( $r=0.67$ ) и фенотипното проявление на признака, което означава, че селекционното подобряване по отношение на добива може да доведе до понижаване на неговата стабилност.

Ниската и недостоверна корелация между нивата на параметрите NPi(3) ( $r=-0.70$ ), NPi(1) ( $r=-0.67$ ) и NPi(2) ( $r=-0.40$ ) е отражение на наличието на нелинейно взаимодействие между сорта и средата по отношение на добива. Това е предпоставка за идентифициране на генотипове с висока продуктивност и средна стабилност, и обратно – на по-нископродуктивни и с висока стабилност. Негативната корелация на добива с тези параметри потвърждава отново данните за понижаване стабилността на даден генотип, ако той се характеризира с високи стойности на добива.

Положителната корелация по отношение на Si(6) ( $r=0.97$ ) показва праволинеен тип на реакция на генотипа в посока на повишаване на стабилността при сорт с генетично висок продуктивен потенциал. При параметъра YSi ( $r=0.99$ ), достоверно високата положителна корелация означава, че е напълно възможно да се установят сортове с висок добив и достатъчно висока стабилност в различни условия на средата. Високите и достоверни



корелации на  $YS_i$  (както и на параметрите  $Si(3)$  и  $Si(6)$ ) с подреждане по средна аритметична според Kang (1993), се дължат на компромиса който този автор прави по отношение на стабилността на даден сорт. При това подреждане значително по-голяма е тежестта на нивото на признака отколкото нивото на неговата стабилност. Този подход идентифицира сортовете с висок добив, но без да се отчита сериозно тяхната стабилност.

Таблица 4. Корелационни коефициенти на Spearman (2009) между методите за оценка на добива и стабилността

Table 4. Spearman's correlation coefficients between evaluation methods of grain yield and stability

	$Y_i$	$D_i$	Stab Var	$YS_i$	$S_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	$S_i^{(3)}$	$S_i^{(6)}$	TOP	$NP_i^{(1)}$	$NP_i^{(2)}$	$NP_i^{(3)}$
$D_i$	0.50											
StabVar	0.80	0.20										
$YS_i$	0.99**	0.50	0.80									
$S_i^{(1)}$	0.67	0.45	0.89*	0.67								
$S_i^{(2)}$	0.67	0.10	0.97**	0.67	0.92*							
$S_i^{(3)}$	0.97**	0.56	0.87	0.97**	0.80	0.76						
$S_i^{(6)}$	0.97**	0.56	0.87	0.97**	0.80	0.76	0.99**					
TOP	0.87	0.29	0.87	0.87	0.65	0.74	0.89*	0.89*				
$NP_i^{(1)}$	0.67	0.45	0.89*	0.67	0.99**	0.92*	0.80	0.80	0.65			
$NP_i^{(2)}$	-0.67	-0.10	-0.56	-0.67	-0.23	-0.39	-0.63	-0.63	-0.89*	-0.23		
$NP_i^{(3)}$	-0.40	-0.10	-0.10	-0.40	0.22	0.10	-0.31	-0.31	-0.58	0.22	0.87	
$NP_i^{(4)}$	-0.70	-0.30	-0.50	-0.70	-0.22	-0.31	-0.67	-0.67	-0.87	-0.22	0.97**	0.90*

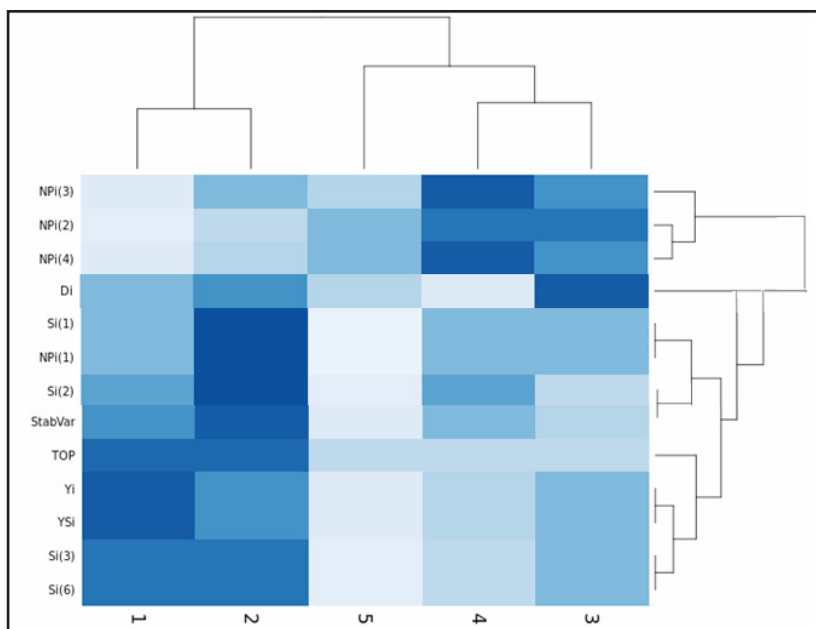
$Y_i$ : Mean response; StabVar: stability variance ( $\sigma^2$ ) of Shukla (1972);  $YS_i$ : yield and stability index of Kang (1993);  $S_i^{(1)}$ ,  $S_i^{(2)}$ ,  $S_i^{(3)}$ ,  $S_i^{(6)}$ : nonparametric stability parameters of Nassar and Huehn (1987); TOP - number of sites at which the genotype occurred in the top third of the ranks;  $NP_i^{(1)}$ ,  $NP_i^{(2)}$ ,  $NP_i^{(3)}$ ,  $NP_i^{(4)}$ : nonparametric stability parameters of Thennarasu (1995)

\*\*\* $p \leq 0.001$ , \*\* $p \leq 0.01$ , \* $p \leq 0.05$

Аналогична като стойност е корелацията между добива на зърно и параметъра  $Si(3)$  ( $r=0.97$ ). Високата стабилност на генотипа се изразява чрез ниската стойност на параметъра. Установените високи стойности на корелационния коефициент между някои от параметрите като например StabVar на Shukla (1972) с  $Si(1)$  ( $r = 0.89$ ),  $Si(2)$  ( $r = 0.97$ ) на Nassar и Huehn (1987) и  $NP_i(1)$  ( $r = 0.89$ ) на Thennarasu (1995) дават основание да се счита, че те показват подобни аспекти на стабилността.

### Клъстерен анализ

Запо-детайлна оценка и изясняване връзките между различните параметри и продуктивността е използван йерархичен клъстерен анализ, при който групите са определени въз основа на най-малкия вътрешен вариант. Коефициентът на корелация е използван като мярка за сходство между параметрите. Дендрограмата, илюстрираща йерархичната класификация на методите за стабилност, е представена на Фигура 4. Разпределението на параметрите е в две основни групи, като първата група включва непараметричните параметри на стабилност ( $NP_i(2)$ ,  $NP_i(3)$ ,  $NP_i(4)$ ) на Thennarasu (1995). Тези параметри корелират отрицателно със средния добив на зърно.



$Y_i$ : Mean response; StabVar: stability variance ( $\sigma^2$ ) of Shukla (1972);  $YS_i$ : yield and stability index of Kang (1993);  $S_i^{(1)}$ ,  $S_i^{(2)}$ ,  $S_i^{(3)}$ ,  $S_i^{(6)}$ : nonparametric stability parameters of Nassar and Huehn (1987); TOP - number of sites at which the genotype occurred in the top third of the ranks;  $NP_i^{(1)}$ ,  $NP_i^{(2)}$ ,  $NP_i^{(3)}$ ,  $NP_i^{(4)}$ : nonparametric stability parameters of Thennarasu (1995)  
 1-Glyans, 2-Svit; 3-Kamerton; 4-Modus; 5-Pleven 4

Фигура 4. Карта за сходство въз основа на метода на непретеглена средна стойност на коефициента на корелация по двойки параметри на стабилност  
 Figure 4. Unweighted pair-group average correlation

Втора основна група е по-многобройна и е формирана от три подгрупи. Самостоятелно място в първата подгрупа заема параметъра  $Di$  на Hanson (1970), който е от значение за генотипите с проявена динамична стабилност. Втората подгрупа е образувана от параметрите  $Si(1)$  на Nassar и Huehn (1987)

и  $NP_i(1)$  на Thennarasu (1995), както и от  $Si(2)$  и  $StabVar$  на Shukla (1972). Последния параметър може да бъде повлиян както от нивото на добива така и от степента на фенотипната стабилност. При третата подгрупа се наблюдава допълнително разделение, като параметрите  $Si(3)$  и  $Si(6)$  на Nassar и Huehn (1987) са най-близки по-между си. В тази подгрупа попадат параметри с висока положителна статистически значима корелация с добива на зърно. Те могат да се прилагат при генотипове с динамична стабилност (Глянс и Свт).

## Изводи

Въз основа на осъщественото проучване и извършената оценка могат да бъдат направени следните изводи:

1. Установява се достоверна различимост на проучваните сортове (Глянс, Свит, Камертон, Модус и Плевен 4) по отношение на генетичната им същност, както и доказано влияние на генотипа, средата и тяхното взаимодействие върху добива на зърно.

2. Фенотипната стабилност на сортовете е оценена с три вида параметри – вариансен ( $\sigma^2$ ) на Shukla (1972), параметър  $D_i$  на Hanson (1970) и непараметричен на Nassar и Huehn (1987) ( $S_i^{(1)}$ ,  $S_i^{(2)}$ ,  $S_i^{(3)}$ ,  $S_i^{(6)}$ ) и на Thennarasu (1995)  $NP_i^{(1)}$ ,  $NP_i^{(2)}$  и  $NP_i^{(3)}$ ,  $NP_i^{(4)}$ . Сортовете Свит и Камертон могат да бъдат определени като екологично стабилни, със сравнително висока продуктивност на зърно и подходящи за отглеждане в широк диапазон на екологичните условия. Глянс е най-високопродуктивен, проявява добра адаптивна способност и отзивчивост към подобряване на условията на средата, а Модус и Плевен 4 се характеризират с ниска продуктивност и нестабилност.

3. Селекционното подобряване на показателя добив на зърно в различни условия може да доведе до понижаване на неговата стабилност.

## Литература

### References

- Bornhofen, E., Benin, G., Storck, L., Woyann, L.G., Duarte, T. & Stoco, M.G. (2017). Statistical methods to study adaptability and stability of wheat genotypes. *Bragantia*, 76(1), 1-10.
- Cargnelutti Filho, A., Storck, L., Riboldi, J. & Guadagnin, J.P. (2009). Associação entre métodos de adaptabilidade e estabilidade em milho. *Ciencia Rural*, 39(2), 340-347.
- Eberhart, S.A. & Russell, W.A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6, 36-40.
- Hanson, W. D. (1970). Genotypic stability. *Theoretical and Applied Genetics*, 40(3), 226-231.
- Kang, M.S. (1993). Simultaneous selection for yield and stability in crop

- performance trials consequences for growers. *Agronomy Journal*, 85, 754-757.
- Lin, C.S. & Binns, M.R. (1988). A superiority measure of cultivar performance for cultivar  $\times$  location data. *Canadian Journal of Plant Science*, 68, 193-198.
- Milioli, A.S, Zdziarski, A.D., Woyann, L.G., Santos, R., Rosa, A.C., Madureira, A. & Benin, G. 2018. Yield stability and relationships among stability parameters in soybean genotypes across years. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 78(2), 299-309.
- Nassar, R. & Huehn, M. (1987). Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for non-parametric measures of phenotypic stability. *Biometrics*, 43, 45-53.
- Pereira, H.S., Melo, L.C., Peloso, M.J., Faria, L.C., Costa, J.G.C. & Díaz, J.L. (2009). Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em feijoeiro-comum. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(4), 374-383.
- Polizel, A.C., Juliatti, F.C., Hamawaki, O.T., Hamawaki, R.L. & Guimarães, S.L. (2013). Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de soja no estado do Mato Grosso. *Bioscience Journal*, 29(4), 910-920.
- Resende, M.D.V. (2006). O software Selegen reml/blup. Embrapa Gado de Corte (Embrapa Gado de Corte Documentos). Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.
- Sabaghnia, N., Karimizadeh, R. & Mohammadi, M. (2015). Graphic analysis of yield stability in new improved lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes using nonparametric statistics. *Acta Agriculturae Slovenica*, 103(1), 113-127.
- Shukla, G. K. (1972). Some statistical aspects of partitioning genotype-environment components of variability. *Heredity*, 29(2), 237-245.
- Spearman Rank Correlation Coefficients, (2009). *Explorable.com* <https://explorable.com/spearman-rank-correlation-coefficient>
- Thennarasu, K. (1995). On certain non-parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 60, 433-439.
- Ward, J. H. (1963). Hierachcal grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58, 236-244.
- Wricke, G. (1965). Zur Berechnung der Ökovalenz bei Sommerweizen und Hafer. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*, 52, 127-138.
- Yan, W. (2001). GGE biplot - a windows application for graphical analysis of multienvironmental trial data and other types of two-way data. *Agronomy Journal*, 93, 1111-1118.
- Yan, W. (2016). Analysis and handling of G  $\times$  E in a practical breeding

program. *Crop Science*, 56, 2106-2118.

Yan, W., Kang, M.S., Ma, B., Woods, S. & Cornelius, P.L. (2007). GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, 47(2), 643-653.

Zobel, R.W., Wright, M.J. & Gauch, H.G. (1988). Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, 80, 388-393.

