

<https://doi.org/10.61308/ZEGQ5425>

Концептуален метод за стойностно определяне на контраста между генотипове обикновена зимна пшеница по тяхната продуктивност

Христо Стоянов

Добруджански земеделски институт – Генерал Тошево, Селскостопанска академия - София

E-mail: hpstoyanov@abv.bg

Христо Стоянов ORCID: 0000-0003-0733-9077

Резюме: Един от най-важните аспекти на всяка селекционна програма е осигуряването на генетично разнообразие сред изследваните генотипове. Въпреки това, колкото то е по-голямо, толкова е по-трудно да бъде обхванато. Наличието на твърде различаващи се или т.нар. контрастни генотипове в полските опити (MET), особено при култури като обикновената зимна пшеница, е причина за получаването на неясна информация и до невъзможност за излъчване и рангуване на най-добрите генотипове. Това повлиява в негативен аспект дори взаимодействието на генотипа със средата, което не дава възможност да бъде правилно определена фенотипната стабилност. С цел тези недостатъци да бъдат преодолени е направен опит за конструиране на концептуален метод за стойностно определяне на контраста между отделните генотипове, който да служи като коректив при статистическата обработка на данните от полските опити. С цел да бъде изследвана приложимостта на методиката са използвани резултатите за добива на 16 генотипа обикновена зимна пшеница в три контрастни периода на отглеждане. На база на формираната концепция и получените резултати е обоснована и създадена методика в стойностно изражение за определяне на контраст между генотипове по тяхната продуктивност в различаващи се условия на отглеждане. Прилагането му върху реални показва, че изследваната съвкупност има хармоничен характер и по-голямата част от линиите и сортовете не се различават значително по своята продуктивност спрямо останалите в съвкупността. Единствено четири генотипа (Драгана, G4, G7 и G11) показват по-високи стойности на контраста, което предполага, че при оценката на тяхната стабилност следва да се подходи с особено внимание. Създадената методика позволява оценката за стабилност и адаптабилност да бъде коригиран в зависимост от получения стойностен контраст, което би дало възможност за по-адекватна оценка на фенотипната стабилност на добива.

Ключови думи: обикновена зимна пшеница; стабилност; контраст

A conceptual method for value determination of the contrast between common winter wheat genotypes in terms of their productivity

Hristo Stoyanov

Dobrudzha Agricultural Institute - General Toshevo, Agricultural Academy - Sofia, Bulgaria

E-mail: hpstoyanov@abv.bg

Hristo Stoyanov ORCID: 0000-0003-0733-9077

Citation: Stoyanov, H. (2025). A conceptual method for value determination of the contrast between common winter wheat genotypes in terms of their productivity. *Bulgarian Journal of Crop Science*, 62(2) 16-33 (Bg).

Abstract: One of the most important aspects of any breeding program is to ensure genetic diversity among the studied genotypes. However, the larger it is, the harder it is to cover in breeding point of view. The presence of very different or so-called contrasting genotypes in multienvironmental trials (MET), especially in crops such

as common winter wheat, is the cause of obtaining unclear information and the impossibility of determining and ranking the superior genotypes. This affects in a negative aspect even the interaction between the genotype and the environments, which does not make it possible to correctly determine the phenotypic stability. In order to overcome these shortcomings, an attempt was made to construct a conceptual method for empiric determination of the contrast between individual genotypes, which would serve as a corrective in the statistical processing of the data from the METs. In order to investigate the applicability of this methodology, the results for the grain yield of 16 genotypes of common winter wheat in three contrasting growing periods were used. On the basis of the formed concept and the obtained results, an empiric methodology was created and justified for determining a contrast between genotypes according to their productivity in different growing conditions. Its application on real data exhibit that the studied set has a harmonious character and the majority of lines and cultivars do not differ significantly in their productivity compared to the others. Only four genotypes (Dragana, G4, G7 and G11) show higher contrast values, which suggests that the evaluation of their stability should be approached with particular care. The created methodology allows the assessment of stability and adaptability to be adjusted depending on the obtained value contrast, which would enable a more adequate assessment of the phenotypic stability of the yield.

Keywords: common winter wheat; stability; contrast

ВЪВЕДЕНИЕ

От селекционна гледна точка създаването на константно високопродуктивни генотипове при културните растения е изключително трудоемка задача. Това е продиктувано от факта, че даден сорт, линия или хибрид, независимо от видовата си принадлежност бива отглеждан при различни условия на средата, които могат съществено да се отличават едни от други (Stoyanov and Baychev, 2018). От друга страна между отделните генотипове понякога съществуват значими разлики в продуктивния потенциал, които се основават на чисто наследствени фактори (Mihova, 2020, Stoyanov, 2020). Не на последно място всеки отделен генотип реагира с различна интензивност по отношение на своята физиология в зависимост от конкретните условия на средата. Тази система от фактори влияещи върху продуктивността – генотип-среда-генотип x среда (GEGXE) се явява ключова за селекцията и правилното и разбиране дава възможност да бъдат отбирани онези генотипове, които в най-голяма степен реагират предвидимо на разнообразни или конкретни условия на средата.

Chahal and Gossal (2002) посочват, че ако не съществуваше взаимодействието $G \times E$, то нямаше да е необходимо отделните генотипове да бъдат изпитвани в различни условия на средата, а ако всяко растение се развиваше идентично нямаше да са необходими повторенията в опитите. Това твърдение дава основание да се счита, че всеки генотип е уникален по своето проявление в конкретна среда и се отличава не само от останалите генотипове на същия вид по своят продуктивен потенциал, но и по своята конкретна реакция в конкретни условия на средата. Непредвидимостта на природните условия и на конкретната метеорология в даден район, а също така комплексното изражение на съвкупността от почвен тип, метеорология и прилагана агротехника и растителна защита дава основание да бъдат търсени по-скоро универсални генотипове, които с по-голяма степен на предвидимост ще удовлетворяват изисквания поставени пред техните производствени възможности. Създаването и търсенето на подобни генотипове изисква проучването на голям брой съществуващи и новосъздадени генетични комбинации.

При култури като обикновената зимна пшеница съществува огромно разнообразие

от форми, линии, сортове, популации и дори хибридни комбинации. Докато определянето на добива има абсолютен характер, то предвидимостта му е тясно свързана както със конкретните условия, при които се изпитва даден генотип, но също така и с това кои са другите генотипове, които са включени в проучването. По този начин стабилността придобива условен характер, който се базира на средата и на конкретна съвкупност т.е. даден генотип не може да бъде определен като абсолютно стабилен, а като повече или по-малко стабилен спрямо други генотипове и то в конкретните условия на изпитване. Колкото по-високо е генетичното разнообразие при културата, толкова нараства възможността стабилността да бъде оценена погрешно.

След като съвкупността от генотипове, т.е. техния продуктивен потенциал е пряко свързан с определянето на тяхната стабилност, то между отделните генотипове следва да съществуват различия, които определят в каква степен те ще са идентични или ще се различават по своя добив. Колкото в по-голяма степен дадени генотипове се различават по между си, то толкова контрастът в продуктивният им потенциал ще бъде по-голям. Терминът контрастни генотипове или генотипове, които контрастират по между си се използва рядко в научната литература, основно да се маркират такива генотипове, които се различават по определени признаци в значителна степен (Costa et al., 2002; Jeng et al., 2006; Wang et al., 2008; Faghani et al., 2015; Herrera et al., 2020). Chaudhary et al. (2020) използват термина за да конкретизират генотипове различаващи се силно по отношение толерантността към засушаване. Същите автори посочват, че голяма част от изследванията свързани с контрастни генотипове се основават на измерване на биомасата, височината на растенията и растежа на кореновата система, при които се наблюдават значителни разлики. Въпреки това до настоящия момент все още няма категорично определение за това какво е контрастен генотип и как този контраст може да бъде измерен стойностно и независимо от величината на

добива или конкретния изследван показател. Намирането на такава числова стойност, която да показва до каква степен генотиповете контрастират по своя продуктивен потенциал би намалило зависимостта на фенотипната стабилност от конкретната изследвана съвкупност, независимо от условията на средата.

Целта на настоящото изследване е да бъде обоснована концепцията при обикновената зимна пшеница, на база на която да бъде създаден метод за определяне на контраста и различимостта на съвкупност от генотипове, независимо от условията на средата.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

Изграждане на модел за определяне на контраста между генотиповете

Определянето на контраста между отделните генотипове в дадена изследвана съвкупност по отношение на стабилността и адаптабилността следва да бъде базирано на резултати от добива през отделните стопански години. Това се налага поради две причини. Голяма част от съвременните методи, модели и подходи за определяне на стабилност имат динамичен характер т.е. трябва да са основани на принципите на динамичната концепция, а това предполага да се базира на фенотипни резултати за продуктивността за всички изследвани периоди на една и съща съвкупност от генотипове. От друга страна определението изисква генотиповете да бъдат отглеждани през контрастни периоди, което определя най-малко три стопански години, чиито резултати следва да бъдат включени в модела. Това е свързано с хипотезата, че е много ниска вероятността три последователни стопански години да бъдат със сходни характеристики по отношение на метеорологичното време. Самата идея за контрастност между отделните периоди обаче има ключово значение, тъй като тя дава възможност да се прояви в по-голяма степен и контрастът между отделните генотипове. Въпреки това, съществува възможност контрастът между генотиповете

особено при крайно неблагоприятни или при много благоприятни да не е толкова голям и генотиповете да не могат да се диференцират добре. В този случай на база на поне три съвкупности от контрастни условия на средата и на базата на модели, които допълнително могат да внесат контраст в стойностите за конкретни условия на средата (например модела EAYM, по Stoyanov, 2021) подобни трудности биват елиминирани.

Математическата същност на EAYM (Формула 1, по Stoyanov (2021)) дава възможност контрастът между отделните генотипове да бъде повишен в дадени условия на средата спрямо тяхната продуктивност през останалите изследвани периоди.

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

$E - 1$

За да бъде обаче установен контраста между отделните генотипове по принцип не е необходимо да бъде внасян допълнителен такъв спрямо контрастните условия. Подобен контраст може да бъде установен по няколко начина. Най-прост метод е да се установи в каква степен даден генотип се отличава от средната за цялата съвкупност. Също сравнително прост модел би бил да се установи до каква степен даден генотип се отличава от средната за дадени условия и в последствие средно за всички условия на средата. Подобна зависимост би удовлетворила Формули 2 и 3.

$$YC_{ADxi} = \frac{\sum_{j=1}^E |\bar{x}_{ij} - \bar{x}|}{E} \quad (2)$$

$$YC_{ADi} = \frac{\sum_{j=1}^E |\bar{x}_{ij} - \bar{x}_j|}{E} \quad (3)$$

, където

YC_{ADp} YC_{ADxi} – контрастът за всеки отделен генотип;

x_{ij} – стойността на добива за конкретен генотип в конкретни условия на средата

x_j – средната стойност на добива за цялата съвкупност от генотипове в конкретни условия на средата;

x – средната стойност на добива за всички генотипове и условия на средата;

E – брой изследвани условия на средата.

Прави впечатление, че на практика стойностите на YC_{ADi} удовлетворяват донякъде идеята за средно абсолютно отклонение. Разликата е, че се осредняват разликите между x_{ij} и x_j , докато при абсолютното отклонение се осредняват разлики между x_{ij} и x_i . На сходен принцип също възможен инструмент за измерване на контраста между отделните генотипове е да се използва и подход базиран на стандартното отклонение между стойностите получени през отделните периоди на изпитване или условия на средата, съгласно Формула 4.

$$YC_{SDi} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^E (\bar{x}_{ij} - \bar{x}_j)^2}{E}} \quad (4)$$

И в двата случая обаче се натрупват ефектите на средната аритметична, които често може да са подвеждащи, особено при наличие на един или повече генотипове, които рязко се отклоняват в положителна или отрицателна посока от средната за съвкупността. От друга страна двата подхода уподобяват способности за определяне на биологическата стабилност на генотиповете (по Kilchevskiy and Khotyileva, 1989). Поради тази причина, използването им за фиксиране на контраст между генотиповете би дало по-скоро изкривена информация за това в каква степен даден генотип се отличава от друг.

Друг възможен способ е използването на средната геометрична като инструмент, който позволява недостатъците на средната аритметична да бъдат преодоляни. По подобие на Формула 2, 3 и 4, идеята за отклонение на генотипа от средната за всички генотипове, осреднено за условията на средата може да бъде приложено и при използване на инстру-

ментариума на средната геометрична. Това би удовлетворило Формула 5:

$$YC_{GDi} = \exp \sqrt{\frac{1}{E} \sum_{j=1}^E \left(\ln \frac{x_{ij}}{g_j} \right)^2}$$

(5)

, където

g_j – средната геометрична за всички генотипове през конкретни условия на средата.

От друга страна обаче използването на средната геометрична, подобно на средната аритметична биха дали едно просто отклонение на генотипа от дадена средна стойност без да се вземе под внимание факта, че през всеки отделен период на практика имаме различни фенотипни прояви в дадени граници т.е. добивът не е статична, а динамична величина. Формула 1 дава възможен отговор на въпроса, как да бъде измерен контраста в динамичен план. Нека разгледаме една двупосочна таблица за добивите (Таблица 1)

Прилагането на ЕАУМ, съгласно формулата върху стойностите от таблицата натрупва контраст между генотиповете, но на база продуктивността им в различаващи се условия на средата. Контрастът между отделните генотипове, който трябва да се установи по принцип изисква точно противоположната идея – контрастът между отделните условия на средата да бъде намален, за да изпълнат онези генотипове, които се различават най-много по своята продуктивност. В този случай, ако стойностите на z_{ij} по ЕАУМ се установяват по редове, но дават възможност ефектите да се видят по колони, то контра-

стът между генотиповете следва да се установи по колони, за да може в последствие да бъде разгледан за всеки отделен генотип по редовете. Математически израз подобна теза намира във Формула 6:

$$\bar{c}_{ij} = \frac{\bar{x}_{ij}}{\bar{x}_j} \cdot \frac{\left(\sum_{i=1}^G \bar{x}_{ij} \right) - \bar{x}_{ij}}{G - 1}$$

(6)

Така изчислени стойностите на c_{ij} представляват данни за реалния добив, но приближени да средната стойност за дадена стопанска година или дадени условия на средата в размер пряко зависим от продуктивността на даден генотип и средната продуктивност на останалите генотипове. Между така изчисления параметър и реалния добив възниква разлика, която представлява на практика контрастът между отделните генотипове при дадени условия на средата. Средната стойност на този параметър за даден генотип в рамките на изследваните условия на средата дава стойността на динамичния контраст, който следва да бъде коректив на модела за стабилност и адаптабилност (Формула7).

$$YC_i = \frac{\sum_{j=1}^E \bar{c}_{ij} - \bar{x}_{ij}}{E}$$

(7)

Колкото разликата е по-голяма, толкова по-контрастиращ спрямо останалите е конкретния генотип. Стойностите могат да при-

Таблица 1. Двупосочна таблица за добива по генотипове и условия на средата
Table 1. Two-way table for yield by genotypes and environments

G, E	$j=1$	$j=2$	$j=3$	...	$j=E$	$AV \text{ for } G\text{'s}$
$i=1$	$\bar{x}_{11}$	$\bar{x}_{12}$	$\bar{x}_{13}$	...	$\bar{x}_{1E}$	$\bar{x}_{1.}$
$i=2$	$\bar{x}_{21}$	$\bar{x}_{22}$	$\bar{x}_{23}$	...	$\bar{x}_{2E}$	$\bar{x}_{2.}$
$i=3$	$\bar{x}_{31}$	$\bar{x}_{32}$	$\bar{x}_{33}$	...	$\bar{x}_{3E}$	$\bar{x}_{3.}$
...	...	...	...	...	...	...
$i=G$	$\bar{x}_{G1}$	$\bar{x}_{G2}$	$\bar{x}_{G3}$	...	$\bar{x}_{GE}$	$\bar{x}_{G.}$
$AV \text{ for } E\text{'s}$	$\bar{x}_{.1}$	$\bar{x}_{.2}$	$\bar{x}_{.3}$	...	$\bar{x}_{.E}$	$\bar{x}_{..}$

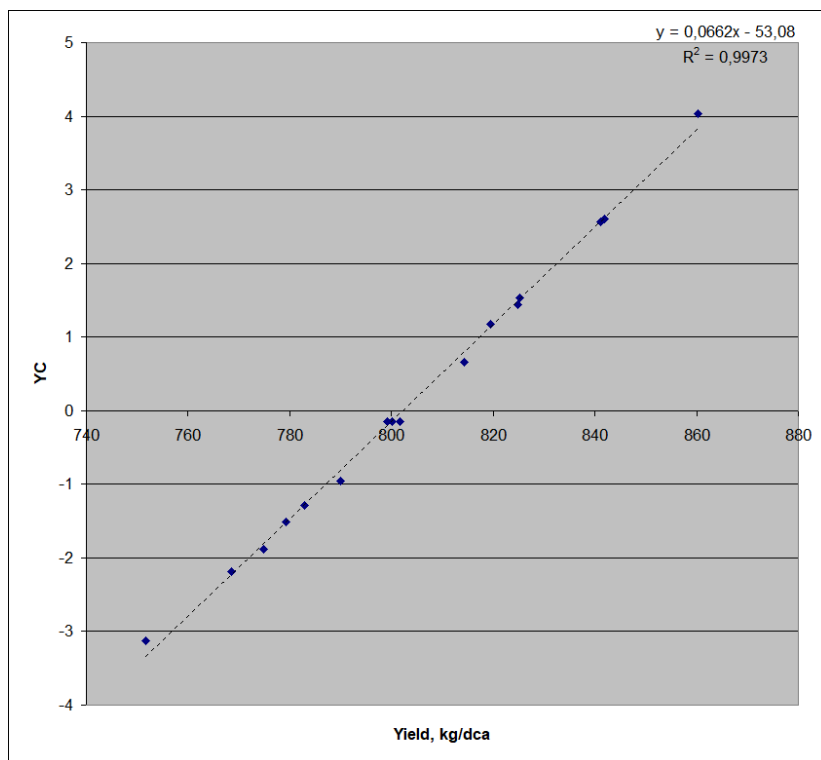
емат както положителен, така и отрицателен аспект, в зависимост от това дали изследвания конкретен генотип е склонен към пониска или по-висока продуктивност, спрямо останалите в изследваната съвкупност. Подобна теза бива доказана на Фигура 1, която представлява биplot илюстриращ комбинирането на стойностите на добива и YC_i , за реална изследвана съвкупност от генотипове обикновена зимна пшеница.

Данните показват, че по-високите стойности на добива се свързват и с високи стойности на контраста за даден генотип, като корелацията е много висока и достоверна. Това се дължи на факта, че генотиповете в съвкупността са сравнително хармонично подредени по своята продуктивност и няма такива, които да изпъкват твърде много по стойности на добива спрямо останалите. При подобни хипотези корелацията би

се понижила значително, а стойностите на контраста за отклоняващия се генотип биха били много по-високи спрямо тези, които са по-близки по своята продуктивност (Фигура 2).

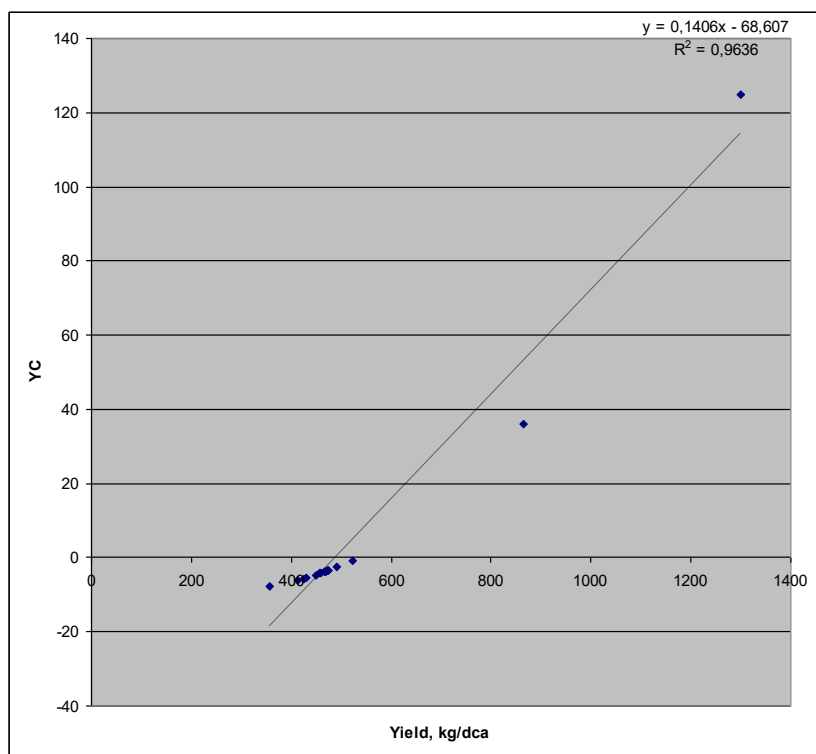
Растителен материал

За изпълнение на поставената цел са използвани 13 новоселекционни линии обикновена зимна пшеница посочени в Таблица 2. Линии са отгледани в слят посев в опитни парцели с площ 10 m², в четири повторения, разположени по стандартен блоков метод. Сеитбата е извършена механизирано в стандартни срокове за обикновената зимна пшеница с гъстота 550 семена на m². Освен посочените сортове са включени като стандартни сортове – Лазарка, Драгана и Пчелина. Парцелите са прибирани в пълна зрелост като е отчетен добивът от всяка поотделно.



Фигура 1. Биplot, съчетаващ стойностите на добива и параметъра YC_i при реална съвкупност от генотипове

Figure 1. Biplot combining values of yield and parameter YC_i in a real population of genotypes



Фигура 2. Биплот, съчетаващ стойностите на добива и параметъра YC_i при силно контрастираща съвкупност от генотипове

Figure 2. Biplot combining values of yield and parameter YC_i for a highly contrasting set of genotypes

Таблица 2. Използвани линии през периода на изследване

Table 2. Lines used in the study during investigation period

No	Name/Наименование	Pedigree/Педигре
1	Lazarka/Лазарка	Local check/ Локален стандарт
2	Dragana/Драгана	Local check/ Локален стандарт
3	Pchelina/Пчелина	Local check/ Локален стандарт
4	G1	Klasik/Enola
5	G2	Todora/Laska
6	G3	Iveta/Enola//Enola
7	G4	Miryana/Antonovka// Antonovka/3/Antonovka
8	G5	Aglika/Antonovka
9	G6	19-15/Enola//Enola
10	G7	Pryaspa/Zlatitsa
11	G8	Klasik/Enola
12	G9	Aglika/Murgavets
13	G10	2534-6-3-2/Enola
14	G11	Goryanka/Deya
15	G12	Enola/Kristal
16	G13	Pryaspa/Zlatitsa

Условия на отглеждане

Опитът се провежда през 3 последователни реколтни години – 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022. Представените данни за средномесечната температура и сумарните месечни валежи (Таблица 3) показват контрастния характер на изследваните периоди. Най-големи разлики спрямо многогодишната тенденция по отношение на температурата са наблюдавани през периода декември-март, а при валежите през месеците януари и юни. Различията в тези периоди са достатъчно основание да се счита, че вегетацията през отделните години е протичала по различен начин. Ясно се открояват определени явления и процеси в метеорологично отношение, които имат единичен характер не се повтарят през отделните периоди и са в състояние силно да повлияят физиологичните процеси в растителния организъм.

Особено силно се откроява стопанската 2020/2021, при която се наблюдават изключи-

Таблица 3. Средно месечна температура (CMT) и сумарни месечни валежи (CMB) за изследвания период
Table 3. Average monthly temperature (AMT) and total monthly precipitation (TMP) in the investigated period

Показател/ Parameter	Година/ Year	Сеп/ Sep	Окт/ Oct	Ное/ Noe	Дек/ Dec	Яну/ Jan	Фев/ Feb	Мар/ Mar	Апр/ Apr	Май/ May	Юни/ Jun	Юли/ Jul
CMT, °C AMT, °C	2019/2020	17,9	13,4	11,7	5,2	1,8	5,1	8,0	10,0	15,4	19,6	22,3
	2020/2021	19,4	15,3	6,3	5,3	3,0	4,0	4,2	8,8	15,8	18,9	22,8
	2021/2022	16,8	10,2	8,3	3,5	1,5	3,9	2,5	10,8	15,6	20,2	22,7
	1960/2022	16,9	11,7	6,8	2,0	-0,1	1,3	4,7	9,9	15,3	21,9	21,4
CMB, mm TMP, mm	2019/2020	36,7	27,6	35,4	21,8	2,8	28,1	28,3	5,8	48,0	192,2	2,7
	2020/2021	34,1	52,9	26,0	74,4	109,7	13,2	22,2	44,6	63,6	162,7	29,7
	2021/2022	8,0	91,6	42,4	89,2	31,4	30,8	19,0	76,0	25,6	76,4	40,4
	1960/2022	45,5	43,1	43,1	43,0	37,5	33,7	35,0	40,5	51,8	62,8	50,8

телно интензивни и продължителни валежи през януари, значително продължителен топъл период през януари и февруари и твърде нехарактерни ниски температури и снеговалежи през първата и втората десетдневка на март. Силно неблагоприятна за отглеждане на обикновена зимна пшеница е стопанската 2019/2020, поради твърде продължителното засушаване в периода март-април. Същевременно най-благоприятна за отглеждане на културата са условията на 2021/2022, при които се наблюдава най-малък брой негативни явления по време на вегетацията, с изключение на по-топлият зимен период и отново по-хладният март.

Статистически анализ

Разработеният модел е приложен за изследваните генотипове обикновена зимна пшеница. Реалните стойности на добива (x_{ij}) са осреднени по сортове и по периоди на изследването. Върху същите стойности е приложен разработения концептуален модел за установяване на контраст между генотиповете чрез параметърът YC_i по Формули 6 и 7. С цел получаване на по-обективна информация и за сравнение са изчислени и стойностите на параметрите YC_{ADxi} , YC_{ADi} , YC_{SDi} и YC_{Gmi} по Формули 2-5. С цел установяване на приложимостта на методиката са установени корелациите между така изчислените показатели

и средния добив зърно за изследвания период (GY). За групиране на генотиповете по продуктивност и контраст показателите GY и YC_i са съпоставени върху биплот-графика, а за установяване на най-контрастните генотипове е проведен клъстерен анализ по показателя YC_i . За обобщаване на данните, за изчисляване на моделните стойности и параметрите по Формули 2-7, а също така и за построяването на биплот-графиката е използван програмен продукт MS Office Excel, 2003, а за провеждане на корелационния и клъстерния анализ – IBM SPSS Statistics, v.19.

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Резултати

Продуктивност на изследваните линии обикновена зимна пшеница

Резултатите за добива от отделните изследвани генотипове обикновена зимна пшеница (Таблица 4), получени за отделните периоди на отглеждане, показват значително различаващи се резултати, както в стойностно отношение, така и спрямо тяхното рангуване. Същевременно отделните условия на средата се отличават като действително контрастни, което се потвърждава от средните стойности за всички генотипове през конкретен период на отглеждане. С най-ниска продуктивност

е стопанската 2019/2020 (526,3), а със значително по-висока – 2021/2022 (1065,8), т.е. превишението в средния добив между двата периода е повече от два пъти. Това е достатъчно условия да се счита, че еднаквите генотипове са отглеждани при твърде различаващи се особености на метеорологичното време.

Подобна теза намира изразение и във частта от общия вариант, свързан с действието на отделните стопански периоди. Условиата на средата заемат над 90% от варианта, което на практика доказва изключително

силното влияние на метеорологичните особености пред генотипа за формирането на добива при обикновената зимна пшеница (Таблица 5). Подобни резултати не са рядкост, за което съобщават и различни изследвания при различни съвкупности от генотипове обикновена зимна пшеница (Mustăţea et al., 2009; Racz et al., 2015; Golba et al., 2018; Mihova and Dimitrova-Doneva, 2021; Uhr et al., 2023).

През стопанската 2019/2020 с най-висока продуктивност се отличава стандартът Лазарка, следван от Драгана и Пчелина. Генотипо-

Таблица 4. Резултати за добива на изследваните линии обикновена зимна пшеница и контраста между тях
Table 4. Results for the yield of the studied common winter wheat lines and the contrast between them

Genotype	2019/2020	2020/2021	2021/2022	Average	YC _i	Y _{CADxⁱ}	YC _{ADi}	YC _{SDi}	YC _{GMI}
Lazarka	539,4	894,5	1024,8	819,6	1,17	191,73	42,20	48,68	1,057
Dragana	532,8	862,0	1130,7	841,8	2,61	218,40	37,13	44,17	1,045
Pchelina	476,1	754,9	1074,6	768,5	-2,18	216,10	42,03	48,65	1,079
G1	529,7	792,1	1002,6	774,8	-1,89	161,83	32,17	40,41	1,042
G2	509,1	811,2	1049,6	790,0	-0,96	182,33	14,73	15,00	1,023
G3	534,5	845,3	1063,4	814,4	0,66	189,83	11,30	14,33	1,019
G4	574,9	833,5	1172,2	860,2	4,04	208,70	55,50	67,86	1,078
G5	460,5	828,0	1109,0	799,2	-0,15	223,93	38,33	45,58	1,084
G6	546,1	747,2	1055,4	782,9	-1,28	188,93	35,00	45,07	1,061
G7	533,9	883,1	1106,5	841,2	2,57	217,00	36,47	42,61	1,049
G8	500,8	878,8	1020,7	800,1	-0,15	198,00	42,47	44,39	1,056
G9	559,7	781,2	996,9	779,3	-1,51	153,57	47,70	50,09	1,062
G10	520,2	704,8	1030,2	751,7	-3,13	203,30	52,97	70,81	1,095
G11	493,1	836,1	1075,9	801,7	-0,15	204,73	19,13	21,63	1,040
G12	564,6	807,2	1102,8	824,9	1,44	180,23	30,03	31,91	1,047
G13	545,1	892,8	1037,8	825,2	1,53	193,60	39,20	45,28	1,056
Average	526,3	822,0	1065,8	804,7	-	-	-	-	-

Таблица 5. Анализ на варианса на добива за изследваните линии обикновена зимна пшеница

Table 5. ANOVA of yield for the studied common winter wheat lines

Source	SS	df	MS	Sig.	SS%
Genotype (G)	200097,272	15	13339,818	0,000	1,60
Environment (E)	11680064,561	2	5840032,280	0,000	93,53
GxE	284551,230	30	9485,041	0,000	2,28
Error	322713,500	192	1680,799		2,58
Total	12487426,563	239	52248,647		

вете G4, G9 и G12 се характеризират с най-високи стойности на добива, а с най-ниски са G2, G5 и G11. Ниската продуктивност през този период се свързва основно с действието на засушаването, което продължава повече от два месеца и на практика не дава възможност на генотиповете да се развиват оптимално в периода след изкласяване.

Стопанската 2020/2021 се различава значително от предходния вегетационен период по отношение на добивите от отделните генотипове. При локалните стандарти групирането е идентично. С най-висока продуктивност е Лазарка, следван от Драгана и с най-ниска продуктивност е Пчелина. Най-висока продуктивност са реализирали линиите G7, G8 и G13, а съответно с най-ниска са линиите G6, G9 и G10. Забелязва се, че линията G9, която в предходния период е била сред най-продуктивните, през тази стопанска година се характеризира като реализирала един от най-слабите добиви. Това дава основание да се твърди, че този генотип се характеризира като слабо отзивчив при благоприятни условия на средата.

През 2021/2022 добивите от всички изследвани генотипове са над 1000 kg/dca с изключение на линия G9. Стандартите през този период се групират съвсем различно спрямо предходните два като най-висока продуктивност реализира Драгана, следван от Пчелина, а с най-ниски стойности на добива е Лазарка. С най-високи добиви са линиите G4, G7 и G12, а съответно с най-ниски – G1, G8 и G9. Въпреки високата продуктивност реализирана както от стандартите, така и от отделните изследвани линии, разликите между тях не са много високи, което затруднява както тяхното правилно рангуване, така и оценката на тяхната продуктивност.

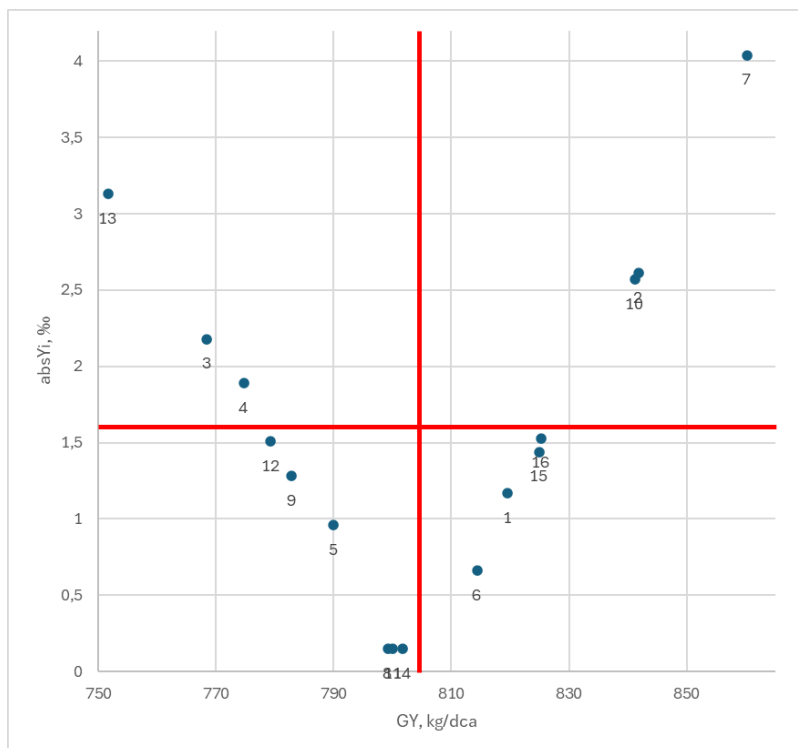
Средно за изследвания период с най-високи добиви е локалният стандарт Драгана, следван от Лазарка, а най-ниски стойности е реализирал стандартът Пчелина. При изследваните линии G1, G2, G9 и G10 са отчетени най-ниски стойности на добива, а при G4, G7 и G12, съответно най-високи добиви. Нито

една от изследваните линии, с изключение на G4 не превишава средните стойности на Драгана за периода на изследването. Това от една страна се свързва с ниската продуктивност следствие на засушаването през 2019/2020 при част от линиите, а от друга с много високата продуктивност на Драгана при изключително благоприятните условия на средата през стопанската 2021/2022.

Контраст между изследваните генотипове

Стойностите на показателя YC_p , който дава представа за контраста между генотиповете (Таблица 4) показва вариращи стойности за изследваните стандарти и линии в границите между -3,13 до 4,04. По отношение на трите включени в изследването стандарти се наблюдават значителни разлики един спрямо друг като средно за изследвания период контрастират по между си. От селекционна гледна точка това е важно, тъй като включването на идентични стандарти в даден експеримент води по-скоро до грешки, отколкото до избор на продуктивен и стабилен генотип. Между изследваните линии също се наблюдава известен контраст. Съответно, колкото по-висока е средната продуктивност, толкова по-висок е и контраста и обратното. Двете линии характеризирани са с най-висок и най-нисък контраст G4 и G10 са съответно тези с най-висока и най-ниска продуктивност. Като цяло изследваната съвкупност се характеризира като хармонична, тъй като не преобладават нито високопродуктивните, нито нископродуктивните генотипове, а също така няма генотипове, които рязко да се отличават от средната продуктивност за изследваната с прекалено високи или твърде ниски добиви. Това се свързва от една страна с факта, че линиите са разработени в един и същ район, при многогодишното действие на определени гранични стойности на метеорологичните елементи и климатичните фактори.

Отборът е извършван на принципа на многогодишното натрупване на най-добре представящите се потомства, което дава възмож-



Фигура 3. Комбиниране на абсолютните стойности на показателя YC_i и средната продуктивност на изследваните линии

Figure 3. Combining the absolute values of the YC_i parameter and the average productivity of the studied lines

ност да бъдат подбрани такива генотипове, които притежават определена адаптабилност. От друга страна участващите в кръстоските родителски форми, от които произхождат линиите също не се характеризират като твърде отдалечени по между си. От тази гледна точка контрастът между отделните генотипове не дава информация единствено и само за продуктивността и метод за установяване на продуктивните различия при разнообразни условия на средата, но и се превръща в специфичен показател за адаптабилност, на фона на определени продуктивност и стабилност.

Ако се вземат под внимание абсолютните стойности на показателя YC_i (независимо от това дали са положителни или отрицателни) (Фигура 3) може да се проследи комбинирането на реалния контраст с продуктивността на изследваните линии.

Докато YC_i корелира високо с добива (Таблица 5) и дава възможност да се определи до каква степен съвкупността от отделните генотипове е хармонична по отношение на продуктивността, то абсолютните стойности позволяват високо и нископродуктивните генотипове да бъдат характеризирани като ниско или висококонтрастни. Това е възможно и необходимо тъй като колкото по-контрастен е даден генотип, толкова неговата продуктивност се отклонява от средната стойност за съвкупността. В настоящето изследване по-висок контраст от средния по абсолютни стойности и по-висока продуктивност от средната се наблюдава при генотиповете Драгана, G4 и G7. При G2, G11, G12 и стандартния сорт Лазарка се наблюдава по-висока продуктивност от средната, но контраст по-нисък от средния. Само при две от изследваните линии

– G1 и G10, а също така и при сорта стандарт Пчелина е отчетена продуктивност по-ниска от средната и контраст по-висок от средния. Най-голям брой генотипове се характеризират с продуктивност по-ниска от средната и контраст по-нисък от средния за изследваната съвкупност. Това са G2, G5, G6, G8, G9 и G11.

По отношение на показателя YC_{ADxi} (Таблица 4) най-високи стойности на контраста са отчетени при генотиповете Драгана, Пчелина, G5 и G7. От друга страна най-ниско контрастиращи съгласно този показател са G1, G9 и G12. Следва да се подчертае, че получените от този показател резултати се различават в известна степен както от тези на YC_i , така и от останалите параметри базирани на средната аритметична или средната геометрична. Така например по показатели YC_{ADi} и YC_{SDi} най-силно контрастират по своята продуктивност генотиповете G4, G9 и G10, а най-слабо контрастиращи са G2, G3 и G11. Сходна тенденция е отчетена и за показателя YC_{GMI} . С най-високи стойности на контраста по този показател са линиите G4, G5, G9 и сорта-стандарт Пчелина, а с най-ниски съответно G2, G3 и G11. С изключение на показателя YC_{ADxi} се наблюдава тенденция с най-високи стойности на контраста по останалите параметри да са линиите G4 и G10, а с най-ниски съответно – линията G11. Подобно проявление на контрастните параметри е логично, тъй като първите две линии са съ-

ответно тези с най-висок и най-нисък добив, а третата, която контрастира най-малко се доближава в най-малка степен до средния добив за трите изследвани периода. Не се наблюдават линии или сортове-стандарт, които да имат стойности, които да са много високи или много ниски по всички изследвани показатели. Следва да се отчете, че параметърът YC_{ADxi} се отличава значително, както по стойности, така и по тенденция между отделните изследвани генотипове. Особено впечатление прави линията G5, която по този показател се характеризира като високо контрастна, но абсолютните стойности на YC_i показват много нисък контраст на този генотип. Подобна теза бива подчертана и от липсата на каквато и да било корелация на YC_{ADxi} с останалите параметри отчитащи контраст, а също така и с добива (Таблица 6).

По отношение на зависимостите на останалите показатели с добива се формира тенденция всички с изключение на YC_i да корелират слабо и недостоверно с продуктивността на изследваните линии. Най-ниски корелационни коефициенти се наблюдават между стойностите на добива (GY) и YC_{ADi} и между GY и YC_{SDi} . Високи и достоверни корелации са отчетени между показателите YC_{ADi} и YC_{SDi} , YC_{GMI} и $absYC_i$, а също така и между YC_{SDi} и YC_{GMI} и $absYC_i$.

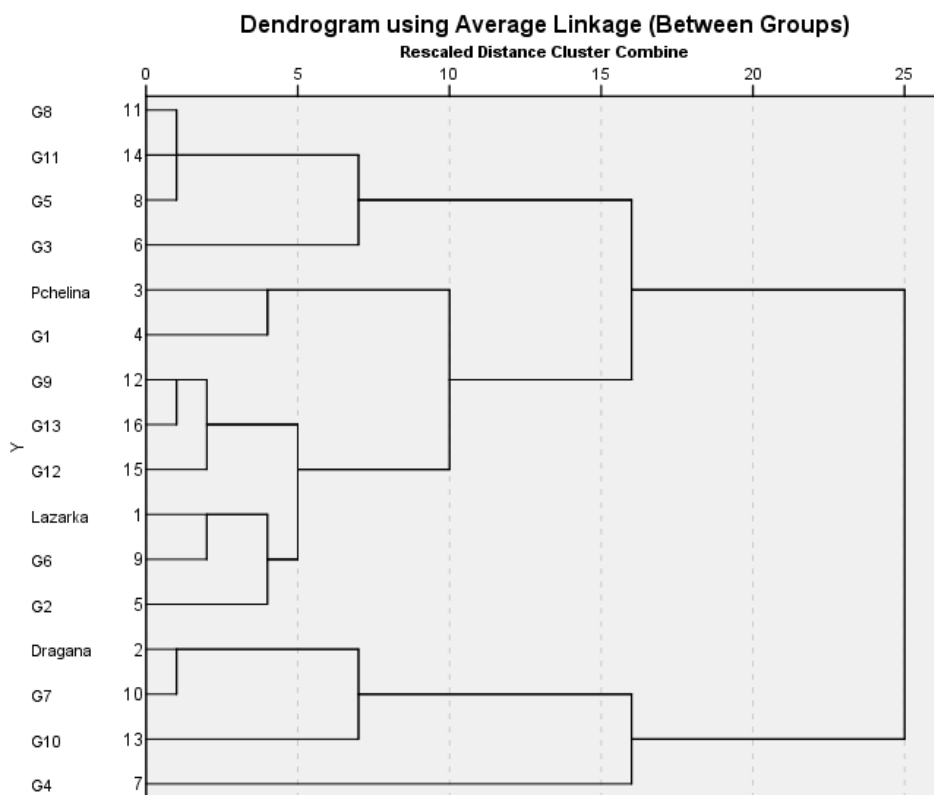
Подобни зависимости са показателни, че четирите изследвани параметъра за отчитане

Таблица 6. Корелации между продуктивността на изследваните линии и параметрите за контраст
Table 6. Correlations between the productivity of the studied lines (GY) and contrast parameters

Parameter	GY	YC_i	YC_{ADxi}	Y_{CADi}	YC_{SDi}	Y_{CGMI}	$absYC_i$
GY	1	0,999**	0,333	-0,003	-0,047	-0,250	0,231
YC_i	0,999**	1	0,352	0,044	0,003	-0,202	0,266
YC_{ADxi}	,333	0,352	1	0,162	0,216	0,363	0,168
YC_{ADi}	-0,003	0,044	0,162	1	0,975**	0,856**	0,592*
YC_{SDi}	-0,047	0,003	0,216	0,975**	1	0,883**	0,664**
YC_{GMI}	-0,250	-0,202	0,363	0,856**	0,883**	1	0,407
$absYC_i$	0,231	0,266	0,168	0,592*	0,664**	0,407	1

на контраста между генотиповете до голяма степен отразяват сходно измененията на продуктивността за отделните линии, включени в съвкупността, независимо от факта, че са продукт на различен математически механизъм. Всички останали корелационни коефициенти между изследваните параметри са много ниски, дори доближаващи се до 0 и недостоверни. На практика установените тенденции между стойностите на отделните генотипове (Таблица 4) и корелационните коефициенти между отделните изследвани показатели за контраст (Таблица 5) показват, че линиите и сортовете с най-високи стойности на контраста се характеризират като високо продуктивни или нископродуктивни, а тези с ниски стойности на контраста, съответно като такива, които реализират добиви близки до средната стойност за всички изследвани генотипове, за всички условия на средата.

В това отношение следва да се счита, че стойностите на контраста на добива, независимо от механизма на неговото определяне показват до каква степен и с колко конкретен генотип са отличава от средната продуктивност за изследваната съвкупност. Колкото повече даден генотип се различава (контрастира), толкова в по-голяма степен е възможно да се проявят ефектите на средната аритметична (или друга средна стойност), които биха изкривили резултатите за предвидимост, стабилност или адаптабилност на съответната линия. Поради тази причина при всяка една изследвана съвкупност (особено ако културата е сходна към широко генетично разнообразие) генотиповете следва да бъдат групирани по стойностите на измерения контраст. На Фигура 4 е представено подобно групиране на база на проведен клъстерен анализ по показателя YC_i .



Фигура 4. Дендрограма от клъстерен анализ на изследваните генотипове по показателя $absYC_i$
Figure 4. Dendrogram from cluster analysis of the studied genotypes according to the $absYC_i$ parameter

Ясно са обособени два основни клъстера по отношение на стойностите на контраста на добива. Първата група обхваща по-голямата част от линиите (10 линии и сортовете-стандарт Пчелина и Лазарка), в които са включени всички генотипове с по-ниски стойности на показателя. Това ги определя като сравнително хармонични, които не се отличават твърде много по своята продуктивност и стойностите им се отличават от средната в нормални граници. От друга страна във втория клъстер се отделят четири други генотипа – сорта-стандарт Драгана и линиите G4, G7 и G10. Съответно това са и линиите с най-ниска (G10) или с най-висока продуктивност (Драгана, G4 и G7). Поради тази причина при определяне на стабилността и адаптабилността на тези четири генотипа следва да се подходи с по-голямо внимание, тъй като те контрастират в по-голяма степен спрямо останалите генотипове включени в изследването.

Обсъждане

Същност на контраста на продуктивността

Термина „контрастни генотипове“ се използва рядко по отношение на изследваните съвкупности от линии и сортове при обикновената зимна пшеница. Той е използван за разграничаване на генотипове от Lopes and Reynolds (2010) по отношение на влияние на генотипа като сума на квадратите. Gutierrez et al. (2010) също използват „контрастни генотипове“, за да означат различаващи се генотипове по отношение на влиянието на засушаване върху тяхната продуктивност. Със значение на различаващи се генотипове по различни физиологични или морфологични особености, терминът „контрастни“ бива използван и от редица други автори (Nayyar and Walia, 2003; Yin et al., 2009; Bürling et al., 2013; Azis et al., 2014; Yousfi et al., 2016; Kumar et al., 2017; Kang et al., 2019; Shokat et al., 2021). В нито едно от тези изследвания обаче не се посочва числова стойност на контраста (изразена чрез конкретна разлика или отношение по между им), а само, че генотиповете се различават по

определения признак. В това отношение се предполага, че при квалифицирането на даден генотип като контрастен следва да се разбира факта, че той се различава от останалите по даден стойностен критерий, без това пряко да е обвързано с цялата съвкупност, а единствено на база субективно групиране, възприето в съответното изследване. Ето защо към настоящия етап в селекционната наука няма точно определение за това какво е контрастен генотип и какво всъщност представлява контраста между генотиповете.

Настоящата приложена методика възприема контрастните генотипове като такива, които се различават едновременно и по между си и спрямо конкретна средна стойност за дадени условия на средата или комбинирано за цялото изследване. Това важи единствено и само за показателя YC_p , което се обяснява със неговата математическа интерпретация съгласно Формула 6. От една страна стойността на всеки генотип е отнесена към средната за конкретните условия на средата, а в последствие коригирана със средната за всички останали генотипове. Следващата стъпка е да се установи разликата между осреднената получена моделна стойност за всички условия на средата и средната продуктивност за даден генотип. По този начин показателят придобива едновременно и динамичен и статичен характер. Наличието на динамична компонента и особеностите на Формула 6 дават възможност да се проследи различието на даден генотип спрямо средната стойност за всички генотипове. От друга страна статичната разлика (Формула 7) и взаимодействието със средната стойност от всички останали генотипове в съвкупността позволява да се установява и контраста спрямо всеки един конкретен генотип независимо. При другите показатели (YC_{ADxi} , YC_{ADI} , YC_{SDi} и YC_{GMI}) статична компонента и отнасяне към останалите генотипове липсва. Макар че сравнение между отделните генотипове също е възможно, тъй като всеки придобива конкретна стойност на контрастния показател, то при тях не се взема под внимание съвкупността без конкретния генотип.

Тези особености позволяват контраста между генотиповете да бъде определен като **възможността на даден генотип поставен в нееднакви условия на средата да се различава от останалите генотипове в същата изследвана съвкупност**. Колкото даден генотип е по-контрастен, толкова в по-голяма степен той се различава от съвкупността като цяло и от останалите други генотипове. За разлика от стабилността на генотипа, неговият контраст има точно противоположно значение. Докато стабилността е способността на даден генотип да бъде предвидим в различаващи се условия на средата спрямо или не други генотипове (по Mariotti et al., 1976), то контраста се измерва задължително спрямо останалите генотипове, тъй като целта е да се определи не дали продуктивността може да бъде предвидена в различни условия, а дали при различни условия генотиповете могат да бъдат различни. В това отношение контрастът е показател, който следва да предшества стабилността т.к. колкото по-различаващи са отделните генотипове, толкова стабилността става по-зависима от самата продуктивност.

Контраст и продуктивност

Прилагането на настоящата методика дава възможност не просто да бъде изчислен контрастът между отделните генотипове в стойностно изражение, но също така и да бъде установено до колко изследваната съвкупност е хармонична по своята продуктивност и дали прилагането на дадена методология за определяне на стабилност и/или адаптабилност ще има достоверен характер. Същевременно допълването на стойността на контраста с клъстерен анализ позволява и групирането на генотиповете и отделянето на тези, при които твърде високата или твърде ниската продуктивност би повлияла върху резултатите за фенотипна стабилност. Подобни опасения са свързани с хипотезата, че средната аритметична като основен инструмент при статистическата обработка на данните би могла да доведе до изкривена представа за поведението на даден генотип, особено при силно раз-

личаващи се условия на средата и по отношение на генотипове, които по своята реакция се отличават значително от останалите по своя добив. В това отношение получените от нас резултати показват, че изследваните генотипове не контрастират прекалено високо по отношение на своята продуктивност при изследваните условия на средата. Въпреки това се наблюдават такива, които се отличават в известна степен от останалите като особено впечатление правят Драгана, G4 и G7. Двете линии и сорта-стандарт контрастират най-силно от останалите и заедно с най-слабо продуктивния генотип формират специфична група, която най-силно се различава от средната стойност.

Подобни констатации са изключително важни, тъй като често се срещат изследвания, при които стабилността корелира с добива по особен начин – колкото по-стабилен е даден генотип, толкова неговата продуктивност е по-близка до средната и обратно – генотипове с ниска и висока продуктивност се характеризират като по-ниско стабилни и като такива с по-трудно предвидима фенотипна изява на добива. Cheshkova et al. (2020) при прилагането на 17 критерия за стабилност, установяват четири, които високо и достоверно корелират със средните стойности на добива при изпитваните генотипове обикновена зимна пшеница. Abd El-Shafi et al. (2014) съобщават, че добива на изследваните от тях генотипове при осем контрастни условия на средата корелира силно, отрицателно и достоверно с показателя CV_i по (Francis and Kanenberg, 1978). Това показва, че колкото по-висок е добива толкова по-малко варира съответния генотип. Bornhofen et al. (2017) показват, че определени методи дават възможност за съчетаване на висока продуктивност и стабилност, докато други не в зависимост от корелацията им с добива. Данните от подобни изследвания водят до заключението, че генетичното разнообразие (изследваната съвкупност) и условията на средата водят до разминаващи се зависимости в системата продуктивност-стабилност.

По въпросите свързани с корелацията на добива и параметрите за стабилност има множество хипотези. Tsenov et al. (2022) и Flores et al. (1998) разделят параметрите за стабилност според корелацията им с добива на две основни групи, като едната се разделя на две подгрупи – показатели корелиращи високо положително с добива; показатели корелиращи слабо с добива; показатели корелиращи отрицателно с добива. Според Tsenov et al. (2022) показателите корелиращи отрицателно с добива могат да се използват за намиране на генотипове с висока обща стабилност, която трудно се съчетава с висока продуктивност. Тези, които корелират високо положително с добива могат да се използват за оценка на генотипове с висока продуктивност и стабилност над средната. Останалите показатели според авторите биха могли да се използват за откриване на генотипове съчетаващи „максимален компромис“ между продуктивност и стабилност. Според нашето мнение подобно „групиране“ е прекалено субективно и твърде условно. Не случайно Flores et al. (1998) изрично посочват, че „терминът „стабилност“ е доста неясен или субективен и че това е основната причина да има така много методи за нейното измерване като всеки един е предназначен за запълване на тъмните зони, оставени от другите (автори“ (бел. авт.)). Следва да бъде посочено, че това дали един метод ще корелира или не с добива, зависи не толкова от неговата математическа интерпретация, а от отговорът на конкретната съвкупност от генотипове в конкретните условия на средата. В това отношение отново следва да се посочи, че колкото по-голямо е генетичното разнообразие в дадена съвкупност (или изобщо при дадена култура), толкова терминът стабилност ще придобива неясен характер.

На фона на настоящето изследване се установява, че нито един от използваните методи за оценка на контраста на генотиповете не корелира високо и достоверно с добива на изследваната съвкупност. За разлика от показателите за стабилност, категорично изискване при показателите за контраст е те да корели-

рат слабо с продуктивността. Това дава възможност контрастът да се оценява до голяма степен независимо от стойностите на добива. Същевременно приложената методика на групиране на контрастните генотипове показва, че не ниската и високата продуктивност (възприемана често твърде субективно, особено когато генотиповете се рангват непараметрично), а конкретните генотипни прояви са ключови за това, кои точно са най-контрастните генотипове.

Според Cheshkova et al. (2020), Tsenov et al. (2022) и дори според Flores et al. (1998) изборът на метод за оценка на стабилност следва да се базира на конкретната селекционна цел. По наше мнение конкретната селекционна цел следва да се обосновава на първо място върху генетичното разнообразие на селекционната съвкупност и върху реалните резултати, които са получени от тази съвкупност. Едва тогава може да се търси дали определен селекционен идеал е постигнат. В това отношение, по наше мнение, изборът на метод за оценка на стабилност следва да се основава на три последователни критерия: 1. До каква степен използваната съвкупност от генотипове е хармонична и има ли такива, които рязко се отклоняват по своята продуктивност от останалите; 2. Може ли приложеният метод, подход, модел, похват за определяне на стабилност или съвкупност от такива да даде адекватна информация ако се приложи директно или следва да се коригира в зависимост от генетичното разнообразие; 3. Взаимовръзката между получените данни от използвания критерий за стабилност позволява ли независима оценка спрямо добива за откриване на комбинации от типа „по-висока продуктивност от средната в съчетание с по-висока стабилност от средната“.

Настоящото изследване дава за първи път отговор на първия критерий в стойностно изражение. На практика, за оценка на контраст могат да бъдат използвани всички посочени в изследването показатели. Въпреки това, използването на параметърът Y_{Ci} позволява да се определи до каква степен дадена съвкуп-

ност е хармонична, а абсолютните стойности на същия показател от друга страна дават възможност да се оценят онези генотипове, които рязко се отклоняват от останалите. Това позволява всеки един познат показател за оценка на стабилност и адаптабилност да бъде коригиран в зависимост от контраста на генотиповете, което би дало възможност за по-адекватна оценка на фенотипната стабилност на изследваната съвкупност от генотипове.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В резултат на така получените резултати и приложението на новия концептуален метод, могат да бъдат направени следните изводи:

1. За първи път е обоснована и създадена концепция в стойностно изражение за определяне на контраст между генотипове по тяхната продуктивност в различаващи се условия на отглеждане.

2. Формирано е определение за контраст на продуктивността като стойностна характеристика на генотипа, според което контрастът се определя като възможността на даден генотип поставен в нееднакви условия на средата да се различава от останалите генотипове в същата изследвана съвкупност.

3. Прилагането на метода на определяне на контраста върху реални данни за генотипове обикновена зимна пшеница показва, че изследваната съвкупност има хармоничен характер и по-голямата част от линиите и сортовете не се различават значително по своята продуктивност спрямо останалите в съвкупността.

4. Само четири генотипа, три от които с висока продуктивност (Драгана, G4 и G7) и един с ниска (G11) показват по-високи стойности на контраста, което предполага, че при оценката на тяхната стабилност следва да се подходи с особено внимание.

5. Създадената методика позволява всеки един познат показател за оценка на стабилност и адаптабилност да бъде коригиран в за-

висимост от контраста на генотиповете, което би дало възможност за по-адекватна оценка на фенотипната стабилност на добива.

ЛИТЕРАТУРА

- Abd El-Shafi, M. A., Gheith, E. M. S., Abd El-Mohsen, A. A., & Suleiman, H. S. (2014). Stability analysis and correlations among different stability parameters for grain yield in bread wheat. *Scientia Agriculturae*, 2(3), 135-140.
- Aziz, T., Finnegan, P. M., Lambers, H., & Jost, R. (2014). Organ-specific phosphorus-allocation patterns and transcript profiles linked to phosphorus efficiency in two contrasting wheat genotypes. *Plant, cell & environment*, 37(4), 943-960.
- Bornhofen, E., Benin, G., Storck, L., Woyann, L. G., Duarte, T., Stoco, M. G., & Marchioro, S. V. (2017). Statistical methods to study adaptability and stability of wheat genotypes. *Bragantia*, 76, 1-10.
- Bürling, K., Cerovic, Z. G., Cornic, G., Ducruet, J. M., Noga, G., & Hunsche, M. (2013). Fluorescence-based sensing of drought-induced stress in the vegetative phase of four contrasting wheat genotypes. *Environmental and Experimental Botany*, 89, 51-59.
- Chaudhary, S., Devi, P., Bhardwaj, A., Jha, U. C., Sharma, K. D., Prasad, P. V., ... & Nayyar, H. (2020). Identification and characterization of contrasting genotypes/cultivars for developing heat tolerance in agricultural crops: current status and prospects. *Frontiers in Plant Science*, 11, 587264.
- Chahal, G. S., & Gosal, S. S. (2002). *Principles and procedures of plant breeding: biotechnological and conventional approaches*. Alpha Science Int'l Ltd..
- Cheshkova, A. F., Stepochkin, P. I., Aleynikov, A. F., Grebennikova, I. G., & Ponomarenko, V. I. (2020). A comparison of statistical methods for assessing winter wheat grain yield stability. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 24(3), 267-275.
- Costa, C., Dwyer, L. M., Zhou, X., Dutilleul, P., Hamel, C., Reid, L. M. & Smith, D. L. (2002). Root morphology of contrasting maize genotypes. *Agronomy Journal*, 94(1), 96-101.
- Faghani, E., Gharechahi, J., Komatsu, S., Mirzaei, M., Khavarinejad, R. A., Najafi, F., ... & Salekdeh, G. H. (2015). Comparative physiology and proteomic analysis of two wheat genotypes contrasting in drought tolerance. *Journal of Proteomics*, 114, 1-15.
- Flores, F., Moreno, M. T. & Cubero, J. I. (1998). A comparison of univariate and multivariate methods to analyze G×E interaction. *Field crops research*, 56(3), 271-286.

- Francis, T. R. & Kannenberg, L. W.** (1978). Yield stability studies in short-season maize. I. A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*, 58(4), 1029-1034.
- Golba, J., Studnicki, M., Gozdowski, D., Mađry, W. & Rozbicki, J.** (2018). Influence of genotype, crop management, and environment on winter wheat grain yield determination based on components of yield. *Crop Science*, 58(2), 660-669.
- Gutierrez, M., Reynolds, M. P., & Klatt, A. R.** (2010). Association of water spectral indices with plant and soil water relations in contrasting wheat genotypes. *Journal of experimental botany*, 61(12), 3291-3303.
- Herrera, J. M., Levy Häner, L., Mascher, F., Hiltbrunner, J., Fossati, D., Brabant, C., ... & Pellet, D.** (2020). Lessons from 20 years of studies of wheat genotypes in multiple environments and under contrasting production systems. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1745.
- Jeng, T. L., Tseng, T. H., Wang, C. S., Chen, C. L., & Sung, J. M.** (2006). Yield and grain uniformity in contrasting rice genotypes suitable for different growth environments. *Field Crops Research*, 99(1), 59-66.
- Kilchevskyi A.V. & Khotyileva L.V.** (1989). *Genotype and Environment in Plant Breeding*. Minsk: Nauka i Tekhnika Publ., (Ru)
- Kang, Z., Babar, M. A., Khan, N., Guo, J., Khan, J., Islam, S., ... & Shahi, D.** (2019). Comparative metabolomic profiling in the roots and leaves in contrasting genotypes reveals complex mechanisms involved in post-anthesis drought tolerance in wheat. *PLoS One*, 14(3), e0213502.
- Kumar, S., Beena, A. S., Awana, M., & Singh, A.** (2017). Physiological, biochemical, epigenetic and molecular analyses of wheat (*Triticum aestivum*) genotypes with contrasting salt tolerance. *Frontiers in plant science*, 8, 1151.
- Lopes, M. S., & Reynolds, M. P.** (2010). Partitioning of assimilates to deeper roots is associated with cooler canopies and increased yield under drought in wheat. *Functional Plant Biology*, 37(2), 147-156.
- Mariotti, J. A., Oyarzabal, E. S., Osa, J. M., Bulacio, A. N. R. & Almada, G. H.** (1976). Analysis of stability and adaptability in sugar-cane genotypes. I. Interactions within an experimental site. *Revista Agronomica del Noroeste Argentino*, 13(1/4), 105-118.
- Mihova, G.** (2020). Peculiarities in the Structure of Yield in Common Wheat Accessions from Different Ecological and Geographic Origin. *International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research*, 4(4), 436-446.
- Mihova, G., & Dimitrova-Doneva, M.** (2021). Analysis for grain yield and some quality traits in bulgarian bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agricultural Sciences/Agrarni Nauki*, 13(29), 12-21.
- Mustăţea, P., Săulescu, N. N., Ittu, G., Păunescu, G., Voinea, L., Stere, I., ... & Năstase, D.** (2009). Grain yield and yield stability of winter wheat cultivars in contrasting weather conditions. *Romanian Agricultural Research*, 26, 1-8.
- Nayyar, H., & Walia, D.P.** (2003). Water stress induced proline accumulation in contrasting wheat genotypes as affected by calcium and abscisic acid. *Biol. Plant*, 46: 275-279
- Racz, I., Kadar, R., Moldovan, V., & Haş, I.** (2015). Performance and stability of grain yield and yield components in some winter wheat varieties. *Romanian Agricultural Research*, No. 32, 11-18
- Shokat, S., Großkinsky, D. K., & Liu, F.** (2021). Impact of elevated CO₂ on two contrasting wheat genotypes exposed to intermediate drought stress at anthesis. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 207(1), 20-33.
- Stoyanov, H. & Baychev, V.** (2018). Tendencies in the yield and its components of the Bulgarian varieties of triticale, grown under contrasting conditions of the environment. *Bul J Crop Sci*, 55(3): 16-26 (Bg)
- Stoyanov, H.** (2020). Response of Bulgarian triticale cultivars to unfavorable environments. *Rastenievdni Nauki*, 57(6), 17-29.
- 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.
- Tsenov, N., Gubatov, T. & Yanchev, I.** (2022). Indices for assessing the adaptation of wheat in the genotype x environment interaction. *Rastenievdni nauki*, 59(2) 16-34 (Bg).
- Uhr, Z., Dimitrov, E., Dragov, R., & Chipilski, R.** (2023). Comparative Testing Of Old Winter Wheat Varieties Under Changing Climatic Conditions. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 66(1), 599-607.
- Wang, Y., Wang, X., Yuan, H., Chen, R., Zhu, L., He, R., & He, G.** (2008). Responses of two contrasting genotypes of rice to brown planthopper. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 21(1), 122-132.
- Yin, X., Guo, W., & Spiertz, J. H.** (2009). A quantitative approach to characterize sink-source relationships during grain filling in contrasting wheat genotypes. *Field Crops Research*, 114(1), 119-126.
- Yousfi, S., Márquez, A. J., Betti, M., Araus, J. L., & Serret, M. D.** (2016). Gene expression and physiological responses to salinity and water stress of contrasting durum wheat genotypes. *Journal of Integrative Plant Biology*, 58(1), 48-66.