https://doi.org/10.61308/UWJB4580

Особености на продуктивността и стабилността на сортове зимно хексаплоидно тритикале с различен географски произход. II. Моделиране на добива и сравнимост на групи от генотипове

Христо Стоянов

Добруджански земеделски институт – Генерал Тошево, 9521, Генерал Тошево, Селскостопанска академия – София, България

*E-mail: *hpstoyanov@abv.bg*

Христо Стоянов ORCID: 0000-0003-0733-9077

Резюме: С цел да се разработи, предложи и приложи метод за сравняване на продуктивността и стабилността на генотипове тритикале с различен географски произход, са изследвани две колекции от 14 български и 17 полски сорта от културата в 4 контрастни периода на отглеждане (2019/2020; 2020/2021; 2021/2022; 2022/2023). Разработен е, приложен и оценен модел, базиран на относителен добив за анализ на продуктивните възможности на даден генотип да реализира продуктивност над средната при изследване на географски диференцирани съвкупности от генотипове. Определени са параметрите за стабилност на моделирания добив съгласно методите на Eberhart and Russell, Shukla, Wricke, AMMI stability analysis и Environment Adjusted Yield Model. Резултатите за продуктивността показват, че приложеният модел и резултатите за моделирания добив дават възможност изследваните съвкупности от български и полски сортове да бъдат сравнявани по между си, а също така да бъдат сравнявани и отделните генотипове между двете групи с различен географски произход. С най-висока моделна продуктивност се характеризират сортовете Салто, Толедо, Казино, Теран и Бумеранг. Най-висока комплексна стабилност на база на моделирания добив е установена при сортовете Бумеранг, Ирник, Благовест, Траперо и Ремико, а с ниска комплексна стабилност са Мусала, Силверадо, Казино и Алгосо. При оценка на стабилността на отделните групи, всички използвани параметри, основани на моделирания добив показват, че при изследваните условия на средата българските сортове се характеризират с по-висока стабилност, спрямо полските.

Ключови думи: моделна продуктивност; географски произход; комплексна стабилност; тритикале; относителен добив

Productivity and stability characteristics of winter hexaploid triticale cultivars with different geographical origins. II. Yield modelling and comparison of genotypes groups

Hristo Stoyanov

Dobrudja Agricultural Institute - General Toshevo, 9521, General Toshevo, Agricultural Academy - Sofia, Bulgaria

*E-mail: *hpstoyanov@abv.bg*

Hristo Stoyanov ORCID: 0000-0003-0733-9077

Citation: Stoyanov, H. (2025). Productivity and stability characteristics of winter hexaploid triticale cultivars with different geographical origins. II. Yield modelling and comparison of genotypes groups. *Bulgarian Journal of Crop Science, 62*(6) 50-68 (Bg).

Abstract: In order to develop, propose and apply a method for comparing the productivity and stability of triticale genotypes with different geographical origins, two collections of 14 Bulgarian and 17 Polish varieties of

the crop were studied in 4 contrasting growing periods (2019/2020; 2020/2021; 2021/2022; 2022/2023). A model based on relative yield was developed, applied and evaluated for analyzing the productive capabilities of a given genotype to realize the productivity over the average yields when studying geographically differentiated sets of genotypes. The stability parameters of the modeled yield were determined according to the methods of Eberhart and Russell, Shukla, Wricke, AMMI stability analysis and Environment Adjusted Yield Model. The productivity results exhibit that the applied model and the results for the modeled yield allow the studied sets of Bulgarian and Polish varieties to be compared with each other, as well as to compare the individual genotypes between the two groups with different geographical origins. With the highest modeled productivity are characterized varieties Salto, Toledo, Kasyno, Teran and Boomerang. The highest complex stability based on the modeled yield was established for the varieties Boomerang, Irnik, Blagovest, Trapero and Remiko, while low complex stability is found for Musala, Silverado, Kasyno and Algoso. When assessing the stability of the individual groups, all used parameters based on the modeled yield show that under the studied environmental conditions, the Bulgarian varieties are characterized by higher stability compared to the Polish ones.

Key words: modeled productivity, geographic origin, complex stability, triticale, relative yield

ВЪВЕДЕНИЕ

Проучването на големи колекции от генетичен материал е свързано с получаването на разнообразни данни от различни периоди на изследване. Често поради ограничени ресурси за провеждане на конкретно изследване, могат да се проучат малък на брой генотипове. Друга група от генотипове може да бъде проучена в последствие, но при различаващи се условия на средата. Получените резултати от различните изследвания носят полезна информация за поведението на генотиповете, в контрастни условия на средата. От друга страна, обаче те са информативни единствено сами по себе си, което не позволява сравнимост особено по отношение на параметри свързани със стабилността и адаптабилността на изследвани групи от генотипове. Тази особеност възпрепятства фенотипната стабилност да бъде използвана като ключов признак при оценката на изходен селекционен материал. Често показателите, които изследват подобни особености на генотиповете биват прилагани или за оценка на напреднали селекционни линии, или при екологично изпитване на определени групи сортове.

Furman et al. (1997) изследват 3117 различни образци тритикале като правят сравнителна характеристика на образците в зависимост от техния произход. Въпреки детайлната характеристика на изследваните групи, изследването не дава информация нито за добива, нито за фенотипната стабилност на изследваните образци. Поради големият обем на колекцията, изследването е извършено само в рамките на два вегетационни периода. Pilipenko and Grib, (2023) при изследване на 43 образеца с различен географски произход представят данни за добива, стабилността и адаптабилността им, но без акцент върху географския произход, а резултати са показани само за 13 -те най-високопродуктивни сорта. Giunta et al. (1999) също проучват голяма колекция от тритикале, но насочват същността на изследването не върху продуктивността и фенотипната ѝ стабилност, а върху механизмите на нейното формиране. Изследване върху продуктивността и стабилността на пролетни тритикале с различен географски произход представят Barnett et al. (2006), но и в това изследване акцентът е поставен върху генотипа, без да се прави сравнение между различния произход на селекционните образци. Единствено Zenkina, (2020) при сравняване на стабилността на отделните проучвани генотипове, посочва и техния произход. На практика, резултатите на посочените изследователи, но и при по-голямата част от други изследвания, които обхващат големи

колекции от генотипове тритикале, липсва обобщаване на данните за добива и сравняване на резултатите по отделни произходи или такива липсват.

Посочените по-горе особености относно сравняване на големи колекции от изходен материал от една страна, а също така липсата на информация като цяло за продуктивността и стабилността на подобни колекции поражда категорична необходимост от осигуряване на данни, свързани с продуктивността и стабилността при различни съвкупности от генотипове тритикале. Това е свързано както с осигуряването на информация за генетичното разнообразие при културата, но също така и формирането на бази данни, които биха подпомогнали изборът на изходен селекционен материал. Необходимост от сравнителна информация се поражда и с цел проследяване на селекционния напредък в дадена селекционна програма, както при условията на провеждане на селекцията, така и при други условия. По отношение на подобни експерименти обаче е необходимо да бъдат решени определени въпроси, които са свързани от една страна с осигуряването на самата сравнимост, а от друга с изолирането на влиянието на средата, особено при сравняване на данни от различни периоди. От една страна продуктивността на определена съвкупност от генотипове през всеки контрастен период, представлява своеобразна скала, която се рангува по различен начин (Stoyanov, 2021). Същевременно съществуват методи като например различните видове относителен добив (Stoyanov et al., 2017b), които запазват висока корелация с добива, но дават възможност генотиповете да бъдат по-адекватно рангувани въпреки контрастните условия на средата, което би осигурило по-адекватна сравнимост при изследване на големи съвкупности.

Целта на настоящето изследване е да се разработи, предложи и приложи метод за сравняване на продуктивността и стабилността на генотипове тритикале с различен географски произход, като се оценят както отделните генотипове, така и отделните колекции по отношение на техния произход.

МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

Растителен материал и условия на средата

За осъществяване на поставената цел са използвани данните за добива на 37 генотипа тритикале, които са разделени в две основни групи (Таблица 1). В първата група са включени 11 български сорта, регистрирани в периода 2000-2021. Към втората група от сортове са включени 17 полски сорта, получени като образци от DANKO Hodowla Roslin, Полша. И двете са отгледани в слят посев в опитни парцели с площ 10 m^2, в три повторения, разположени по стандартен блоков метод, в рамките на екологичен конкурсен

Таблица 1. Наименование, произход и тип на изследваните сортове тритикале
Table 1. Name, origin and type of the studied triticale varieties

Тип и произход на генотиповете/ Type and origin of the genotypes	Генотипове/ Genotypes
Български сортове/ Bulgarian cultivars	Atila, Akord, Respekt, Bumerang, Irnik, Dobrudzhanets, Lovchanets, Doni 52, Blagovest, Borislav, Avitohol, Hokey, Teran, Musala
Полски сортове/ Polish cultivars	Twingo, Salto, Trapero, Toledo, Fredro, Rotondo, Remiko, Subito, Palermo, Bereniko, Silverado, Kasyno, Maestozo, Avokado, Alekto, Trismart, Algoso
Местни стандарти/ Local checks	AD-7291, Vihren, Rakita, Kolorit
Световни стандарти/ World checks	Lasko, Presto

сортов опит. Сеитбата е извършена механизирано в периода 15-30 октомври с гъстота 550 семена на m^2. В рамките на екологичния конкурсен сортов опит са използвани местните сортове-стандарти АД-7291, Вихрен и Ракита, а също така и световните сортове-стандарти – Ласко и Престо. Реколтирането на опитните парцели е извършено във фенологична фаза пълна зрелост, като е отчетен добивът от всяка една поотделно. Експериментът е проведен през 4 последователни стопански години – 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022, 2022/2023, които се отличават по между си по своя контрастен характер (Таблица 2 и 3).

Статистическа обработка на данните

За изолиране на влиянието на средата е използван относителен добив, съгласно предложената концепция от Yau and Hamblin (1994), който допълнително е моделиран с предварително определен моделиращ добив. Целта на моделиращия добив е да приведе данните отново в мерни единици (kg/dca), което да позволи обработката им и прилагането на статистически анализи да бъде в стойности, сходни с тези на реалните добиви при културата. Избраната стойност на моделиране (1000) е възприета за по-лесно интерпретиране на получените резултати от една страна, а от друга е свързана с продуктивния потенциал на културата, посочен в предходно наше изследване – Stoyanov et al. (2023b).

Стойностите на относителния моделиран добив M_{RY}, са определени съгласно зависимостта представена на формула 1:

$$M_{RY} = \frac{Y_{ij}}{Y_j} 1000 \quad (1)$$

, където,

Y_{ij} – добивът от всеки изследван генотип при конкретни условия на средата (kg/da)

Y_j – средният добив от всички генотипове при конкретни условия на средата (kg/da)

Таблица 2. Средномесечни температури (АМТ) за изследвания период
Table 2. Average monthly temperatures (AMT) for the study period

Период/ Period	Сеп Sep	Окт Oct	Ное Nov	Дек Dec	Яну Jan	Фев Feb	Мар Mar	Апр Apr	Май May	Юни Jun	Юли Jul
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
2022/2023	17,5	12,9	9,1	4,8	5,3	2,8	6,6	9,5	14,6	20,1	24,1
2019/2023	17,9	13,0	8,9	4,7	2,9	3,9	5,3	9,8	15,4	19,7	23,0
1960/2023	17,0	11,8	6,8	2,1	-0,1	1,3	4,7	9,9	15,2	21,9	21,5

Таблица 3. Сумарни месечни валежи (ТМР) за изследвания период
Table 3. Total monthly precipitation (TMP) for the study period

Период/ Period	Сеп Sep	Окт Oct	Ное Nov	Дек Dec	Яну Jan	Фев Feb	Мар Mar	Апр Apr	Май May	Юни Jun	Юли Jul
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
2022/2023	93,6	6,0	29,4	28,4	29,0	7,4	38,8	79,0	34,2	2,8	40,6
2019/2023	43,1	44,5	33,3	53,5	43,2	19,9	27,1	51,4	42,9	108,5	28,4
1960/2023	45,5	41,9	42,9	42,7	37,3	33,3	35,1	41,1	51,5	61,9	50,7

Съгласно моделите за рангуване на генотипове в контрастни условия на средата, моделът, използващ относителен добив спрямо средната за всички генотипове (по Stoyanov et al., 2017a) дава достатъчно адекватна представа за продуктивността и позволява подреждане на генотиповете, независимо от условията на средата и участващата съвкупност (Yan and Holland, 2010). Представянето на данните в моделиран, а не в относителен вариант (чрез умножаване по 1000 на относителната стойност) дава възможност за по-доброто детайлизиране на продуктивността. Така обособените стойности на добива са подложени на анализ на фенотипната стабилност.

На база на AMMI-анализ, JRA по Eberhart and Russell (1966), ековаленс по Wricke (1962), варианс на Shukla (1972), EAYM по Stoyanov (2021) и средна рангова оценка по Stoyanov et al. (2017a) е установена стабилността на отделните генотипове в контрастни условия на средата. Стойностите на всеки един от изследваните параметри за стабилност и адаптабилност е рангуван и анализиран спрямо ранговите оценки на добива. За обобщаване на данните, за определяне на ранговите оценки и за изчисляване на параметрите по Stoyanov (2021) е използван програмен продукт MS Office Excel, 2003, за анализите по Eberhart and Russell, Shukla и Wricke – софтуерния продукт StabilitySoft, за извеждане на AMMI анализа – програмния продукт AMMISOFT 2.7.13.1., а за корелационния анализ – IBM SPSS Statistics, v.19.

РЕЗУЛТАТИ

Моделиран добив

Представените данни за моделирания добив (Таблица 4 и 5) дават възможност условията на средата да бъдат неутрализирани и

Таблица 4. Моделиран добив (kg/dca) от изследваните български сортове и прилежащите им сортове-стандарти

Table 4. Modeled yield (kg/dca) of the studied Bulgarian varieties and their corresponding standard varieties

Генотип/ Genotype	2019/2020	2020/2021	2021/2022	2022/2023	Средно Average
АД-7291/AD-7291	880,8	1061,4	916,3	1084,4	985,7
Вихрен/Vihren	874,6	957,9	1038,5	948,6	954,9
Ракита/Rakita	1082,3	945,9	1017,2	1057,4	1025,7
Колорит/Kolorit	1012,0	1007,2	1029,5	749,6	949,6
Ласко/Lasko	1025,8	1000,2	977,6	1087,0	1022,7
Престо/Presto	**1131,8**	**1031,8**	**1026,6**	**1087,5**	**1069,4**
Атила/Atila	1044,7	800,5	960,7	**1101,9**	977,0
Акорд/Akord	1043,6	932,9	988,2	1041,7	1001,6
Респект/Respekt	**856,9**	**907,1**	**834,5**	1035,7	908,6
Бумеранг/Bumerang	**1159,0**	**1117,7**	**1079,3**	**1108,0**	**1116,0**
Ирник/Irnik	1010,8	1007,2	1040,9	990,4	1012,3
Добридужанец/Dobrudzhanets	**818,5**	**1121,2**	1044,0	**912,8**	**974,1**
Ловчанец/Lovchanets	**882,8**	**882,2**	**954,0**	**959,7**	**919,7**
Дони 52/Doni 52	**1053,1**	995,1	**922,4**	**1112,4**	1020,7
Благовест/Blagovest	1042,8	995,4	987,4	975,5	1000,2
Борислав/Borislav	1040,4	1093,7	955,2	1083,1	1043,1
Авитохол/Avitohol	961,9	1043,3	**1150,4**	975,4	1032,8
Хокей/Hokey	998,1	1090,0	**1085,0**	1084,8	**1064,5**
Теран/Teran	**1136,8**	**1192,8**	1020,4	1044,5	**1098,6**
Мусала/Musala	967,5	**839,2**	996,8	**606,8**	**852,6**
Средно/Average	***1001,2***	***1001,1***	***1001,3***	***1002,4***	***1001,5***
CV, %	***9,69***	***9,90***	***6,89***	***12,74***	***6,45***

средната продуктивност за всеки един от изследваните периоди да бъде почти напълно идентична за цялата съвкупност от изследвани генотипове. Тъй като моделирания добив за стандартите и отделните групи по произходи са оценявани поотделно, то резултатите за средните стойности за конкретни условия на средата не са винаги равни на 1000. В този случай по-големите отклонения от 1000 показват, че стандартите се характеризират с по-висока продуктивност, спрямо основната група сортове. Това обикновено се свързва с крайно неблагоприятни условия за отглеждането на културата като цяло и че сортове, които обикновено са реализирали високи добиви при благоприятни условия на средата, в конкретния период са реализирали значително по-ниска продуктивност.

По отношение на отделните изследвани генотипове при конкретните условия на средата се наблюдава липса на тенденция по отношение на моделирания добив, независимо от групата на произход, даден сорт да има идентични резултати и през четирите стопански периода. Най-високи стойности на моделирания добив изчислен за стопанската 2019/2020 се наблюдава при сортовете Бумеранг, Дони 52 и Теран от българските и Толедо, Ротондо и Алгосо от полските. Съответно от българските с най-ниски стойности на моделния добив са Респект, Добруджанец и Ловчанец, а при полските – Палермо, Маестозо и Алекто. Варирането в групата на полските сортове е по-малко от това на българските. По отношение на следващия период (2020/2021) с най-високи стойности на моделирания добив

Таблица 5. Моделиран добив (kg/dca) от изследваните полски сортове и прилежащите им сортове-стандарти

Table 5. Modeled yield (kg/dca) of the studied Polish varieties and their corresponding standard varieties

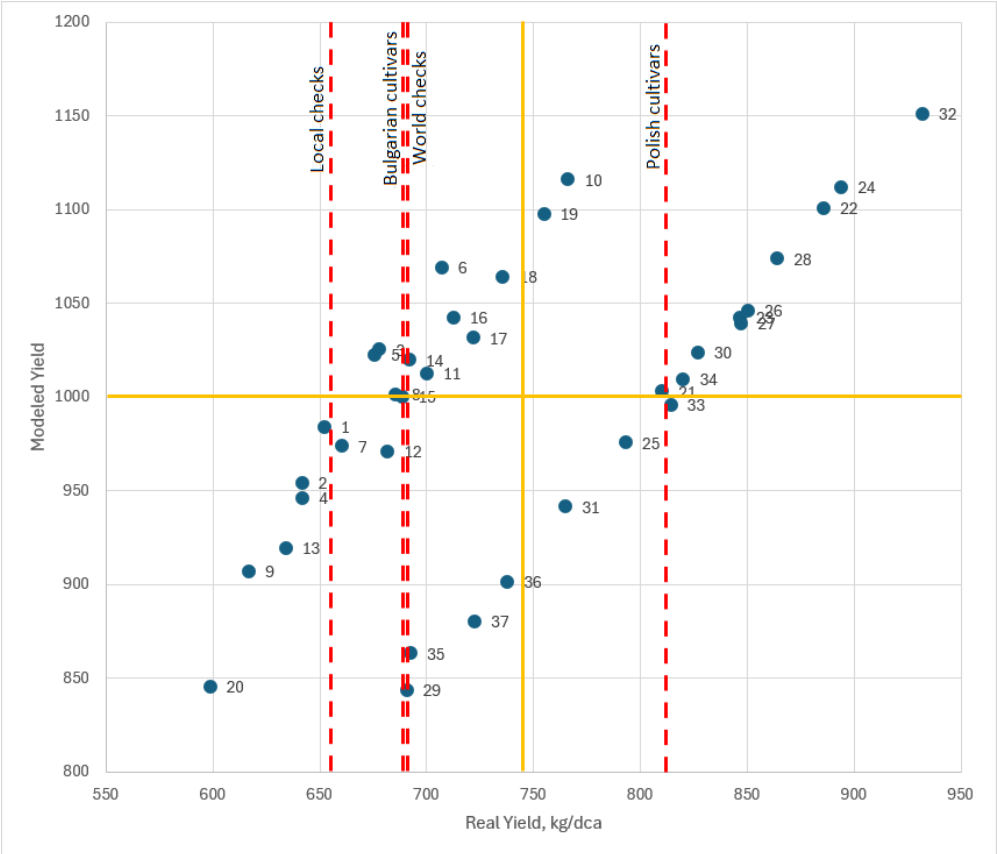
Генотип/ Genotype	2019/2020	2020/2021	2021/2022	2022/2023	Средно/ Average
АД-7291/AD-7291	880,8	1061,4	916,3	1084,4	985,7
Вихрен/Vihren	874,6	957,9	1038,5	948,6	954,9
Ракита/Rakita	1082,3	945,9	1017,2	1057,4	1025,7
Колорит/Kolorit	1012,0	1007,2	1029,5	749,6	949,6
Ласко/Lasko	1025,8	1000,2	977,6	1087,0	1022,7
Престо/Presto	**1131,8**	**1031,8**	**1026,6**	**1087,5**	**1069,4**
Туинго/Twingo	993,3	987,8	974,0	1057,1	1003,1
Салто/Salto	1025,7	**1129,1**	1006,2	**1249,6**	**1102,7**
Траперо/Trapero	1021,2	1065,3	1036,1	1046,8	1042,4
Толедо/Toledo	**1120,4**	**1111,6**	1029,8	1188,6	**1112,6**
Фредро/Fredro	1033,6	1077,4	**942,4**	**855,6**	977,3
Ротондро/Rotondo	**1135,9**	1010,9	**1091,6**	949,8	1047,1
Ремико/Remiko	1008,3	1039,0	**1079,7**	1030,7	1039,4
Субито/Subito	967,8	1069,3	998,4	**1271,4**	1076,7
Палермо/Palermo	**888,9**	**805,7**	**935,3**	750,2	**845,0**
Беренико/Bereniko	994,2	1063,0	962,7	1076,7	1024,1
Силверадо/Silverado	982,8	**719,4**	**1096,0**	987,6	946,5
Казино/Kasyno	1002,7	**1324,5**	1030,4	**1263,6**	**1155,3**
Маестозо/Maestozo	**873,7**	1043,6	1027,6	1043,2	997,0
Авокадо/Avokado	1017,7	1049,7	1000,7	969,8	1009,5
Алекто/Alekto	**922,3**	**785,4**	**832,5**	915,5	**863,9**
Трисмарт/Trismart	956,0	904,0	974,2	**777,1**	902,8
Алгосо/Algoso	**1085,8**	841,8	1008,0	**621,6**	**889,3**
Средно/Average	***1001,6***	***1001,4***	***1001,4***	***1003,0***	***1001,9***
CV, %	***7,83***	***12,88***	***5,91***	***16,91***	***7,90***

са Бумеранг, Добруджанец и Теран от българските и Салто, Толедо и Казино от полските. Най-ниски стойности са отчетени при Респект, Ловчанец и Мусала, а също така и при Палермо, Силверадо и Алекто. Българските сортове се характеризират с по-нисък вариационен коефициент за този период, спрямо групата на полските сортове. При българските сортове Бумеранг, Авитохол и Хокей се наблюдава най-висок моделиран добив през 2021/2022, а също така и при полските Ротондо, Ремико и Силверадо. При Респект, Ловчанец и Дони 52, но и при Фредро, Палермо и Алекто е отчетен най-ниския моделиран добив за същия стопански период. Същевременно съвкупността от полските сортове варира по-малко по отношение на изследвания показател, спрямо генотиповете с български произход.

През стопанската 2022/2023 моделирания добив е с най-високи стойности при българските сортове Атила, Бумеранг и Дони 52, а също така и при полските Салто, Субито и Казино. Същевременно най-ниски са стойностите на Добруджанец, Ловчанец и Мусала от българските и на Фредро, Трисмарт и Алгосо при полските генотипове. Наблюдава се значително по-високо вариране сред стойностите на моделирания добив за полските сортове, отколкото при българските. Средно за всички изследвани периоди най-висок моделиран добив е отчетен при Бумеранг, Хокей и Теран от българските сортове и при Салто, Толедо и Казино от полските. Съответно най-ниски стойности се наблюдават при Добруджанец, Ловчанец и Мусала, а също така и при Палермо, Алекто и Алгосо. Средно за изследваните периоди е установено, че полските сортове варират по-високо по отношение на моделирания добив спрямо българските.

Получените резултати за моделирания добив дават възможност както отделните периоди, така и различните сортове и групи сортове, дори отглеждани при различни условия на средата да бъдат сравнявани по между си. Това може да бъде направено както по отношение на отделни данни за моделирания добив за два сорта, така и като тенденция между отделните сортове по години на отглеждане. От така изследваната съвкупност най-висок моделиран добив (независимо от средните стойности за всички реколтни години) е отчетен при сорт Казино (1325) за стопанската 2020/2021, а най-нисък при сорт Мусала през стопанската 2022/2023 година (607). Полученият моделиран добив не бива обаче да бъде разглеждан като абсолютен измерител, а задължително следва да бъде комбиниран с данните за реалния добив. Това е свързано с факта, че моделирания добив дава представа единствено за възможността на сорта да реализира продуктивност по-висока от средната за конкретната съвкупност, от която произхожда, докато реалния добив показва конкретното проявление на продуктивността в дадени условия на средата.

На Фигура 1 може да се установят основните разлики между реалния и моделирания добив, като същевременно става възможно да се отберат комбинации между двата показателя, които съчетават предимствата на двата вида продуктивност. Докато реалния добив показва продуктивността, която даден генотип е реализирал независимо от условията на средата, средно за изследвания период, то стойностите на моделирания добив дават представа за способността на същия генотип да реализира продуктивност по-висока от средната за съвкупността, в която е изследван. В това отношение моделирания добив позволява изследваните генотипове да се оценяват независимо от условията на средата, тъй като показателят има относителен, а не абсолютен характер т.е. показва тенденция към по-висока или по-ниска продуктивност. Показаният биплот ясно разграничава две основни съвкупности от сортове, които формират специфични тенденции. Първата съвкупност обхваща сортовете-стандарти и българските сортове тритикале. Тя се характеризира с по-ниски стойности на абсолютния добив, но същевременно се наблюдава по-малко вариране в стойностите му. Втората съвкупност обхваща полските сортове. Макар абсолютния добив



Фигура 1. Съчетание на реален и моделиран добив (kg/da) при изследваните генотипове тритикале

Figure 1. Combination of real and modeled yield for the studied triticale genotypes

да е по-висок, то се наблюдава по-голямо вариране както по неговите стойности, така и по отношение на стойностите на моделирания добив. Прави впечатление, че по-голяма част от изследваните сортове (31 бр.) се характеризират с добиви над средните за местните стандарти (първата червена линия), а също така и над средния за световните стандарти (третата червена линия) (25 бр.). Петнадесет сорта попадат в границите на продуктивността между средната за българските и средната за полските сортове. Наблюдава се тенденция, нито един от българските сортове да не се характеризира с продуктивност по-висока от средното ниво за полските сортове. Независимо от значителните разлики, които се наблюдават по отношение на реалния добив 9 от 14-те български сорта (64%) и 10 от 17-те полски сорта (59%) се характеризират с моделиран добив над 1000. По отношение на стандартите - 3 от използваните 6 (Ракита, Ласко и Престо) са с моделиран добив над 1000. Това показва, че при българските сортове се наблюдава по-голяма склонност да реализират продуктивност над средната, което ги доближава до сортове като Ракита и Престо. При изследваните полски сортове само един (Казино) превишава сорт Бумеранг по стойностите на моделирания добив средно за периода на изследване. При комбиниране на резултатите за всички сортове, с продуктивност над средната (742 kg/da) са 13 от изследваните полски сортове и само два (Бумеранг и Теран) от българските. Съответно комбинация от висок реален добив (по-висок от средния) и високи стойности на моделирания добив се

наблюдава при сортовете Бумеранг, Теран, Туинго, Салто, Траперо, Толедо, Ротондо, Ремико, Субито, Беренико, Казино и Авокадо. От селекционна гледна точка, подобни сортове са най-желани, тъй като освен висока продуктивност, съчетават и склонност да реализират по-високи добиви спрямо повечето сортове в изследваната група. Висок реален добив, но ниски стойности на моделирания добив се комбинират при Фредро, Силверадо и Маестозо. Макар тези сортове да се отличават с висока продуктивност, те имат склонност да реализират добиви, които са по-ниски от средната в изследваната съвкупност. Съчетание на реални добиви по-ниски от средния, но високи стойности на моделирания добив се наблюдава при сортовете Ракита, Ласко, Престо, Акорд, Ирник, Дони 52, Благовест, Борислав, Авитохол и Хокей. Тези генотипове също носят значителна селекционна ценност, тъй като макар да са с по-ниски реални добиви, то те се характеризират със склонност да реализират по-висока продуктивност от тези, участващи в изследваната група, спрямо които е изчислен моделирания добив. Последната група съчетава ниски стойности и по двата показателя. В настоящото изследване това са сортовете АД-7291, Вихрен, Колорит, Атила, Респект, Добруджанец, Ловчанец, Мусала, Палермо, Алекто, Трисмарт и Алгосо. Те се характеризират с най-малка селекционна ценност, тъй като освен ниския си реален добив се характеризират със склонност към по-ниска продуктивност, спрямо групата, в която са изпитвани.

Адаптабилност и стабилност на моделирания добив

Едно от основните преимущества на стойностите на моделирания добив е възможността те да бъдат използвани за оценяване и сравняване на стабилността на различни групи от изследвани генотипове. Прилагането на шест различаващи се подхода (регресионен коефициент и средно квадратично отклонение по Eberhart and Russell (1966), вариянс на Shukla (1972), ековаленс на Wricke (1962), IPCA1 параметър от AMMI анализ, стабилност от EAYM (Stoyanov, 2021)) върху моделирания добив на двете групи поотделно (Таблица 6, 7), но също така и заедно (Таблица 8) позволява да се определят тенденциите към които клонят отделните генотипове. Същевременно средната рангова оценка и нейното последващо рангуване дава възможност всички използвани методи и модели да бъдат обединени в единен модел на база, на който да се определят онези генотипове, които с по-голяма вероятност могат да бъдат посочени като по-стабилни при изследваните условия на средата.

По отношение на регресионния коефициент (b_i) като най-широкоадаптабилен може да бъде определен сортът-стандарт Вихрен (2/17), при изследване в комбинация с българските, но при комбиниране с полските сортове, по-широка адаптабилност се наблюдава при Ракита (5/16). Независимо от съчетаването на сортовете-стандарти с различни по географски произход групи, сорт Колорит (18/20) е с най-тясна адаптабилност от изследваните местни стандарти. Най-широка адаптабилност се наблюдава при българските сортове Бумеранг (4), Ирник (1) и Благовест (3) и при полските Траперо (2), Толедо (3) и Беренико (1). Съответно най-тясна адаптабилност е отчетена при Акорд (15), Добруджанец (19) и Теран (17) от българските и при Фредро (21), Силверадо (22) и Алгосо (23) от полските.

При рангуване на средноквадратичното отклонение от регресията най-висока стабилност при комбиниране на сортовете-стандарти с българските сортове се наблюдава при сорт Ракита (5/10), а при комбинация с полските – при сорт Вихрен (13/8). Независимо от съчетаването с различните групи най-ниски стойности на показателя са отчетени при сорта-стандарт Колорит (19/20). По отношение на останалите генотипове най-висока стабилност се наблюдава при Акорд (2), Ирник (1) и Благовест (3) от българските, и Траперо (1), Ремико (3) и Авокадо (2) от полските. Най-ниска е стабилността при Респект (16), Добруджанец (18) и Мусала (20), а също така и при Силверадо (21), Казино (22) и Алгосо (23).

Идентични са резултатите за ранговите оценки на показателите варианс на Shukla и ековаленс. Най-стабилен, независимо от комбинирането с различни по географските произход сортове е Ракита (9/8), а най-нестабилен е сорт Колорит (19/20). При българските сортовете най-висока стабилност на моделирания добив е отчетена при Бумеранг (3), Ирник (1) и Благовест (2), а най-ниска при Атила (17), Добруджанец (18) и Мусала (20). По отношение на полските сортове като най-стабилни се определят Траперо (1), Ремико (2) и Авокадо (3), а най-нестабилни са Силверадо (22), Казино (21) и Алгосо (23). Почти напълно идентични са ранговите оценки и по показателя за стабилност, базиран на модела EAYM по отношение на най-стабилни и най-нестабилни генотипове. Единствената разлика е в ранговите оценки на Ловчанец (5) и Хокей (4) от българските сортове, и при Алекто (11), Маестозо (13), Палермо (14) и Ротондо (12) при полските.

Стойностите на IPCA1 показват, че най-слабо взаимодействат със средата сортовете Хокей (1), Бумеранг (2) и Благовест (3) от българските, а от полските – Алекто (2), Ремико (4) и Траперо (6). Съответно най-силно взаимодействие на база на моделирания добив се наблюдава при Мусала (20), Атила (18) и Респект (17) от българските, и Алгосо (23), Субито (21) и Казино (22) от полските. По отношение на използваните стандарти най-силно са взаимодействали със средата АД-7291 (15/18) и Колорит (19/20), независимо от изследваната група, а най-слабо – Вихрен (7/1).

По отношение на подреждането на изследваните сортове въз основа на средната рангова оценка от показателите за стабилност на моделирания добив, най-високо стабилен от стандартите е сорт Вихрен (9/11) при комбиниране с българските сортове, а при съчетаване с полските – Ракита (9/8). Следва да се подчертае, че техните средни рангови оценки

Таблица 6. Рангови оценки на параметрите за стабилност при български сортове тритикале изчислени въз основа на данните за моделирания добив
Table 6. Rank estimates of stability parameters for Bulgarian triticale varieties calculated based on modeled yield data

Генотип/ Genotype	b_i	s^2d_i	σ^2_i	W_i^2	IPCA1	S_{EAYM}	ARE
АД-7291/AD-7291	11	17	16	16	15	16	16
Вихрен/Vihren	2	13	11	11	7	11	9
Ракита/Rakita	16	5	9	9	9	9	10
Колорит/Kolorit	18	19	19	19	19	19	19
Ласко/Lasko	9	7	6	6	12	6	6
Престо/Presto	7	11	7	7	8	7	7
Атила/Atila	20	10	17	17	18	17	17
Акорд/Akord	15	2	8	8	10	8	8
Респект/Respekt	8	16	15	15	17	15	15
Бумеранг/Bumerang	4	6	3	3	2	3	3
Ирник/Irnik	1	1	1	1	5	1	1
Добридужанец/Dobrudzhanets	19	18	18	18	14	18	18
Ловчанец/Lovchanets	13	4	4	4	4	5	5
Дони 52/Doni 52	12	14	13	13	16	13	14
Благовест/Blagovest	3	3	2	2	3	2	2
Борислав/Borislav	10	12	10	10	11	10	11
Авитохол/Avitohol	6	15	14	14	13	14	13
Хокей/Hokey	5	9	5	5	1	4	4
Теран/Teran	17	8	12	12	6	12	12
Мусала/Musala	14	20	20	20	20	20	20

Таблица 7. Рангови оценки на параметрите за стабилност при полски сортове тритикале изчислени въз основа на данните за моделирания добив

Table 7. Rank estimates of stability parameters for Polish triticale varieties calculated based on modeled yield data

Генотип/ Genotype	b_i	s^2d_i	σ^2_i	W_i^2	IPCA1	S_{EAYM}	ARE
АД-7291/AD-7291	13	17	17	17	18	17	17
Вихрен/Vihren	17	8	11	11	1	10	11
Ракита/Rakita	5	10	8	8	5	8	8
Колорит/Kolorit	20	20	20	20	20	20	21
Ласко/Lasko	7	6	5	5	9	5	5
Престо/Presto	10	7	6	6	3	6	6
Туинго/Twingo	9	4	4	4	8	4	4
Салто/Salto	14	18	18	18	19	18	18
Траперо/Trapero	2	1	1	1	6	1	1
Толедо/Toledo	3	12	9	9	11	9	10
Фредро/Fredro	21	5	16	16	10	16	14
Ротондро/Rotondo	16	14	13	13	16	12	14
Ремико/Remiko	11	3	2	2	4	2	2
Субито/Subito	19	19	19	19	21	19	20
Палермо/Palermo	6	15	12	12	15	14	12
Беренико/Bereniko	1	9	7	7	12	7	7
Силверадо/Silverado	22	21	22	22	14	22	22
Казино/Kasyno	8	22	21	21	22	21	19
Маестозо/Maestozo	18	11	14	14	13	13	13
Авокадо/Avokado	12	2	3	3	7	3	3
Алекто/Alekto	4	13	10	10	2	11	9
Трисмарт/Trismart	15	16	15	15	17	15	16
Алгосо/Algoso	23	23	23	23	23	23	23

са много близки. Независимо от изследваната група сорт Колорит (19/21) се характеризира с най-ниска стабилност на база ARE от включените сортове-стандарти. Най-висока комплексна стабилност се наблюдава при Бумеранг (3), Ирник (1) и Благовест (2) от българските, и при Траперо (1), Ремико (2) и Авокадо (3) от полските.

Съответно най-ниска е при Атила (17), Добруджанец (18) и Мусала (20) от българските и при Силверадо (20), Казино (22) и Алгосо (23) от полските.

Получените резултати от ранговите оценки дават възможност да се проследи стабилността в зависимост от географски произход, но същевременно отново не е възможно да се определи кои са по-стабилни по своята продуктивност въпреки различния географски произход и продуктивен потенциал. Обединяването на данните от моделирания добив и за двете групи (български и полски сортове) позволява по-детайлно сравнение независимо от произхода на генотипа, като същевременно генотиповете могат да се рангуват свободно и от условията на средата (Таблица 8).

Групирането на генотиповете въз основа на регресионния коефициент (b_i) показва, че с най-широка адаптабилност са сортовете Ирник (3), Дони 52 (4), Траперо (6), Толедо (1) и Палермо (2), а с най-тясна адаптабилност – Атила (35), Фредро (36) и Силверадо (37). По отношение на сортовете-стандарти с най-широка адаптабилност е АД-7291 (7), а с най-тясна – Колорит (32). Средно квадратичното отклонение от регресията (s^2_{di}) показва, че най-стабилен от сортовете-стандарти е Ракита (16), а най-нестабилен – Колорит (32). По отношение на останалите сортове, с най-ви-

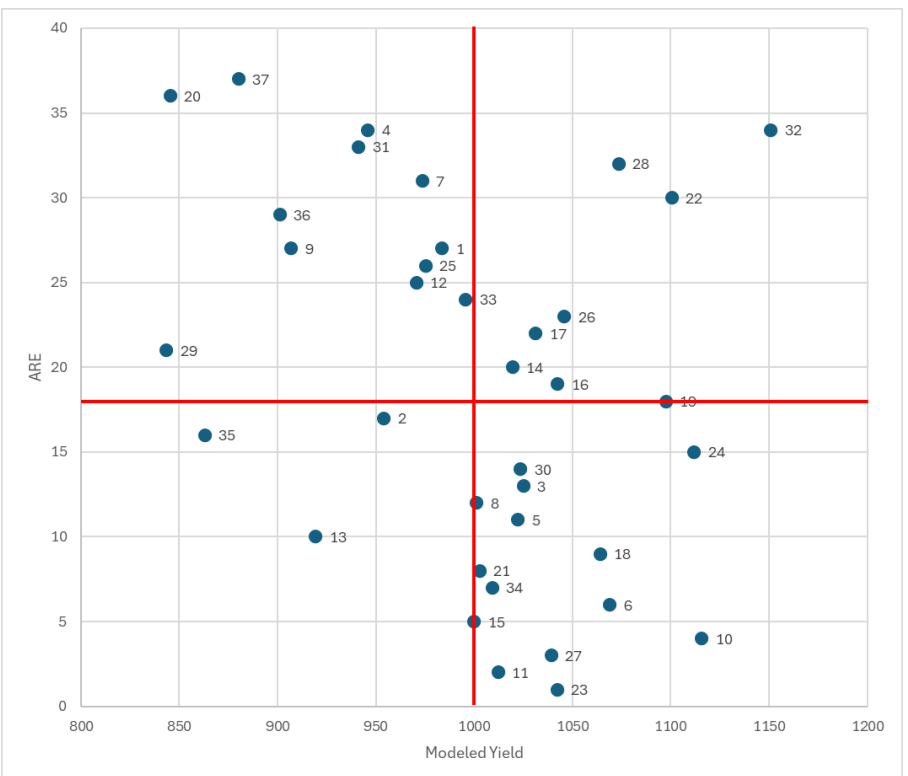
Таблица 8. Рангови оценки на параметрите за стабилност при двете изследвани групи от сортове тритикале изчислени въз основа на данните за моделирания добив
Table 8. Rank estimates of stability parameters for the two studied groups of triticale varieties calculated based on modeled yield data

Генотип/ Genotype	b_i	s^2d_i	σ^2_i	W_i^2	IPCA1	S_{EAYM}	ARE
АД-7291/AD-7291	7	30	28	28	31	28	27
Вихрен/Vihren	28	18	18	18	2	17	17
Ракита/Rakita	21	16	14	14	3	14	13
Колорит/Kolorit	32	32	33	33	33	33	34
Ласко/Lasko	10	12	10	10	19	10	11
Престо/Presto	5	14	11	11	1	11	6
Атила/Atila	35	29	30	30	16	31	31
Акорд/Akord	20	13	12	12	6	12	12
Респект/Respekt	22	26	25	25	29	25	27
Бумеранг/Bumerang	15	7	5	5	4	5	4
Ирник/Irnik	3	5	2	2	13	2	2
Добридужанец/Dobrudzhanets	14	34	32	32	5	32	25
Ловчанец/Lovchanets	29	1	8	8	12	9	10
Дони 52/Doni 52	4	23	20	20	26	20	20
Благовест/Blagovest	13	6	3	3	14	4	5
Борислав/Borislav	23	17	15	15	21	16	19
Авитохол/Avitohol	17	24	24	24	18	23	22
Хокей/Hokey	11	11	9	9	15	8	9
Теран/Teran	34	3	19	19	8	19	18
Мусала/Musala	31	36	36	36	36	36	36
Туинго/Twingo	12	10	7	7	17	7	8
Салто/Salto	18	31	29	29	32	29	30
Траперо/Trapero	6	4	1	1	9	1	1
Толедо/Toledo	1	20	16	16	24	15	15
Фредро/Fredro	36	9	27	27	25	27	26
Ротондро/Rotondo	16	22	22	22	28	21	23
Ремико/Remiko	9	8	4	4	7	3	3
Субито/Subito	30	33	31	31	34	30	32
Палермо/Palermo	2	25	21	21	27	24	21
Беренико/Bereniko	8	15	13	13	23	13	14
Силверадо/Silverado	37	28	35	35	20	35	33
Казино/Kasyno	24	35	34	34	35	34	34
Маестозо/Maestozo	25	21	23	23	22	22	24
Авокадо/Avokado	26	2	6	6	11	6	7
Алекто/Alekto	19	19	17	17	10	18	16
Трисмарт/Trismart	27	27	26	26	30	26	29
Алгосо/Algoso	33	37	37	37	37	37	37

сока стабилност се подреждат сортовете Ирник (5), Ловчанец (1), Теран (3), Траперо (4) и Авокадо (2), а с най-ниска – Мусала (36), Казино (35) и Алгосо (37).

По отношение на параметрите вариянс на Shukla, ековаленс и параметъра за стабилност по EAYM, резултатите са почти напълно идентични, като при стандартите като най-стабилен се определя Ракита (14), а с най-ниска стабилност – Колорит (33). При останалите сортове най-висока стабилност е отчетена при сортовете Бумеранг (5), Ирник (2), Благовест (3), Траперо (1) и Ремико (4), а най-ниска при Мусала (36), Силверадо (35) и Алгосо (37). Следва да се посочи, че и трите показателя следват различаващи се математически апарати и еднаквата оценка е свързана с определени тенденции в моделирания добив.

Прилагането на средната рангова оценка на база на изследваните показатели определя като по-стабилен стандарта Ракита (13), а Колорит (34) като значително нестабилен при използването на моделирания добив за изследвания период. При анализ на данните за изследваните генотипове като най-комплексно стабилни се определят Бумеранг (4), Ирник (2), Благовест (5), Траперо (1) и Ремико (3), а с ниска комплексна стабилност са Мусала (36), Силверадо (33), Казино (34) и Алгосо (37). Така получените резултати от подреждането на генотиповете показват, че на практика както общата (съвкупна) оценка на генотиповете, така и оценката отделно по географски произход се обединяват и отделните сортове могат да бъдат сравнявани както по между си, така и независимо едни от други вътре в групите. Това дава възможност стабилността, изчис-



Фигура 2. Съчетание на моделиран добив и средната рангова оценка за стабилност (ARE) при изследваните генотипове тритикале

Figure 2. Combination of modeled yield and stability average rank estimate (ARE) for the studied triticale genotypes

лена за моделирания добив да бъде реално съпоставяна и използвана като критерий при оценяване на продуктивните възможности на изследвани колекции, независимо от условията на средата.

Съчетаването на моделирания добив със средната рангова оценка (ARE) от друга страна позволява да бъдат определени онези от генотивоте, които съчетават възможност за продуктивност над средната и висока фенотипна стабилност. Биплот-графиката (Фигура 2) показва, че подобни комбинации се наблюдават при местния стандарт Ракита, световните стандарти Ласко и Престо и сортовете Акорд, Бумеранг, Ирник, Благовест, Хокей, Туинго, Траперо, Толедо, Ремико, Беренико и Авокадо. Висока стабилност, но продуктивност на база моделиран добив се наблюдава само при три сорта – стандарта Вихрен, Ловчанец и Алекто. Впечатление прави сорт Теран, който попада на границата между стабилните и нестабилните сортове, но се характеризира с висока продуктивност. Всички останали генотипове съчетават своята продуктивност (ниска или висока) със стабилност, която е по-ниска от средната. Това прави тяхната реакция при отглеждането им в контрастни условия на средата по-трудно предвидима. Дори високопродуктивните сортове като Казино, Салто и Субито имат твърде непредвидима реакция и тяхната продуктивност и продуктивен потенциал се колебаят в широки граници.

Независимо от това, от Фигура 7 става ясно, че по-голяма част от сортовете, които имат стабилна реакция въз основа на моделирания добив са от групата на българските сортове.

Потвърждение тази теза намира в средните резултати за показателите за стабилност, изчислени комплексно за двете групи с различен географски произход (Таблица 9). И по четирите включени показатели българските сортове се характеризират средно с по-висока стабилност, спрямо групата, формирана от полските сортове.

ОБСЪЖДАНЕ

Моделна продуктивност

Идеята за моделиране, симулиране или предвиждане на продуктивността при култури като обикновената пшеница не е нова, за което свидетелстват значим брой изследвания (Напр: Touré et al., 1995; Palosuo et al., 2011; Michel and Makowski, 2013; Bento et al., 2021; Meraj et al., 2022; Fu et al., 2025 и др.). При тритикале подобна идея намира съвсем ограничено приложение, тъй като към настоящия момент не се счита за култура от първостепенно икономическо значение. Въпреки това идеята за моделиране намира израз не само по отношение на прогнозиране и симулиране на продуктивността, но и за анализ на самия добив. Tsenov et al. (2013) използва пет различни модела за рангуване на добива при обикновена зимна пшеница. Предходно наше изследване показва, че моделирането на добива спрямо контрастните условия на средата (Stoyanov, 2021) дава възможност генотиповете да се рангуват по-адекватно, тъй

Таблица 9. Сравнителна характеристика на параметрите за стабилност при български и полски сортове тритикале въз основа на техния моделиран добив
Table 9. Comparative characteristics of stability parameters in Bulgarian and Polish triticale varieties based on their modeled yield

Произход/ Origin	W_i^2	σ^2_i	s^2d_i	S_{EAYM}
Български/Bulgarian	12920,63	4533,554	1306,356	1,490903
Полски/Polish	16449,74	5732,486	1820,452	1,851771

като влиянието на средата се наслагва допълнително върху величината на добива. В друго наше изследване (Stoyanov, 2023) добивът бива моделират чрез индекса на De Martone, чрез който се прави детайлен анализ на влиянието на засушаването върху самата продуктивност при генотипове тритикале. В настоящото изследване моделирания добив е основан на относителния добив на база на средната продуктивност на всички генотипове. Подобна идея намира основа във факта, че влиянието на главния ефект на условията на средата бива елиминирано (Yan, 2008), при условие, че биват използвани относителни стойности. Въпреки това както ефектът на генотипа, така и този на взаимодействието генотип х средата се запазва в получаваните стойности (Yan and Holland, 2010). На практика основната цел на използването на моделирани стойности и на моделиране на добива като цяло е да се изолира влиянието на средата върху генотиповете, за да може продуктивността да бъде анализирана, сравнявана, предвиждана, прогнозирана или интерпретирана независимо от условията, в които даден генотип е поставен или се предвижда да бъде поставен.

В настоящото изследване, основният поставен акцент е върху сравнимостта между групи от генотипове, които по своята същност се характеризират с различен продуктивен потенциал. По отношение на продуктивността не е сложно да бъдат разграничени кои генотипове са по-продуктивни. Това е и основната цел на предходно наше изследване (Stoyanov, 2024), при което е направен детайлен анализ на реалния добив на двете изследвани групи от сортове – български и полски. Едно от основните заключения е, че при същите условия на средата българските сортове са по-ниско продуктивни, спрямо полските. Единствено сорт Бумеранг и сорт Теран се доближават до продуктивността, реализирана от полските сортове тритикале. Подобна установена тенденция е вярна и валидна, но единствено и само за изпитваните условия на средата.

Използвания моделиран добив дава възможност да се установят онези сортове, които са склонни да реализират по-висока продуктивност от средната за изследваната съвкупност. Когато се анализира този подход в сравнение с реалния добив се установява, че има такива генотипове, които въпреки своята висока продуктивност са склонни да имат по-нисък моделиран добив. Така например от групата на полските сортове такива са Алекто, Трисмарт и Алгосо. От друга страна в групата на българските сортове се наблюдават такива, които въпреки по-ниските си реални добиви са склонни да реализират продуктивност над средната за групата. Такива са например Теран и Бумеранг. От селекционна гледна точка това е важно, тъй като селекцията на високопродуктивни генотипове следва да се води не само по стойностите на реалния добив, но и по отношение на тенденциите, които формира.

Според Muratov et al. (2023) продуктивните възможности на тритикале са в пряка връзка с условията на отглеждане и свързаните с това ограничаващи фактори (абиотичен стрес, болести, неприятели, плевели). На практика стойностите на използвания в нашето изследване параметър дават възможност да се определят генотиповете, които независимо от района на изследване, абиотичния и биотичен стрес, метеорологичните условия, почвения тип, приложената агротехника ще продължават да реализират добиви, които са по-високи от средната стойност за изследваната съвкупност. Това е свързано с особеностите на относителните величини. Резултатите за реалния добив при отглеждане на дадена култура при всеки един генотип, в отделни условия на средата се характеризират с определени граници на вариране, определена средна стойност и конкретни минимум и максимум. Останалите условия на средата формират също подобни своеобразни съвкупности. По този начин резултатите от отделните среди може да се считат за отделни скали, които носят конкретни тенденции. Осредняването по метода на средната аритметична води до ефек-

та на малките и големите стойности, което значително може да изкриви крайния резултат под формата на продуктивен потенциал (Bevington and Robinson, 2003). Използването на относителни стойности и умножаването им с конкретен моделен параметър (в нашият случай той е равен на 1000) води до уеднаквяване на размерността на резултатите, но и до запазване на тенденциите предизвикани от условията на средата. По този начин сравняването на генотиповете през отделните периоди и крайната им величина дава възможност за по-адекватната интерпретация на добива и на продуктивните възможности на отделния генотип.

По отношение на различния произход на изследваните генотипове ясно може да се заключи, че по-голямата част от полските сортове притежават по-високи реални добиви в условията на провеждане на изследването. Въпреки това стойностите на моделирания добив показват, че изследваните български сортове са с по-голяма способност да реализират продуктивния си потенциал. Подобни изводи дават възможност полските сортове да бъдат използвани като източници на реална продуктивност, а българските - като основа за нейното по-сигурно реализиране.

Стабилност на моделирания добив

Един от основните аспекти, които дават предимство на използването на моделирания добив за селекционни цели е възможността отделни групи от генотипове да бъдат сравнявани едновременно по своята стабилност и адаптабилност. Това на практика е невъзможно да се извърши чрез реалния добив, тъй като неговите стойности представляват отделни статистически съвкупности. Подобна невъзможност се обуславя от статистическото разпределение на данните, тъй като наличието на две независими съвкупности предполага липса на нормално разпределение, което е нужна предпоставка за адекватно провеждане на анализите и моделите за стабилност (Gauch, 1992; Kozak and Piepho, 2018). Според Blanca Mena et al. (2017) обаче, дори липсата на нормално разпределение няма да доведе до съществено отклоняване на резултатите, що се касае до достоверността на проведения анализ на варианса (който е неизменна част от AMMI-анализа, бел. авт.). На практика това позволява, независимо от факта, че дадени генотипове може да се различават по между си, ако те биват изследвани при едни и същи условия на средата, то те може да бъдат сравнявани по между си. Трудности обаче възникват, когато всяка съвкупност от генотипове бива оценявана поотделно. В този случай използването на реалните добиви за изчисляване на параметрите на стабилност и адаптабилност не позволява сравнимост между отделните групи от генотипове. Всички посочени по-горе проблеми биват заобиколени чрез стойностите на моделирания добив.

Използването на относителния добив (или в нашия случай моделиран добива, базиран на относителен) има своите предимства както по отношение на оценката на продуктивността, така и по отношение влиянието на генотипа и средата. Yau and Hamblin (1994) посочват три основни предимства на прилагането на относителния добив: 1. Преобразуване на лесно изчислимия варианс на относителния добив в практическа мярка за агрономическа стабилност, позволяваща лесно разбиране на взаимодействието генотип х среда; 2. Еднаква тежест, за всяка една среда при изчисляване на средните стойности за всеки генотип; 3. Лекота при сравняване на голям брой генотипове, тествани в различни експерименти на едно и също място през една и съща година. Тези твърдения дават основание, не реалния, а моделирания добив да бъде използван при оценка на различаващи се съвкупности от генотипове и сравняването им по тяхната комплексна стабилност.

Stoyanov (2024) посочва, че от изследваните български сортове, с най-висока комплексна стабилност, изразена чрез параметъра средна рангова оценка (ARE, изчислена от параметрите за стабилност на реалния добив) са Бумеранг, Благовест и Борислав, а от Полските – Авокадо, Туинго и Толедо. Резул-

татите за същия показател за стабилност на база моделирания добив показват, че при българските сортове най-стабилни са Бумеранг, Ирник и Благовест, а от Полските – Траперо, Ремико и Авокадо. На практика имаме разминаване при рангуването на генотиповете по тяхната фенотипна стабилност. Подобни резултати показват две основни зависимости – 1. Преките (главни) ефекти на условията на средата влияят категорично върху възможността за адекватна оценка на селекционната ценност на изследваните генотипове; 2. Ефектите на средните аритметични следствие на ненормализирани величини изкривяват рангуването на генотиповете. В това отношение наше предходно изследване (Stoyanov and Baychev, 2023) показва, че взаимодействието генотип х среда и неговите компоненти са неизменно обвързани с условията на конкретна година. До подобно заключение достигат и изследванията на Motzo et al. (2001). Според Yan and Holland (2010) преките ефекти на условията на средата не са уместни при оценката на генотиповете. Не случайно описаният от Yan and Kang (2002) GGE Biplot метод се базира на главния ефект на генотипа и на взаимодействието генотип х среда, като ефектите на средата са изолирани. В този случай възниква въпросът до каква степен оценката на стабилността, базирана на реалния добив или тази на моделирания е по-адекватна. До отговор на този въпрос не може да се достигне еднозначно. Задълбочените проучвания на Gauch et al. (2008) и Yan et al. (2007) върху методите AMMI и GGE фаворизират определени подходи, като според едното и другото изследване се дава предимство на единия или другия метод. Според Tsenov et al. (2022) използването на един или друг подход следва от поставената селекционна цел. По същия начин стабилността, базирана на реалния или моделирания добив не се различава единствено и само по това дали даден метод е по-адекватен от другия. В първия случай се оценява предвидимостта на даден генотип да реализира определена фенотипна проява, докато при моделирания добив се оценява предвидимостта на даден генотип да реализира продуктивност над зададено моделно ниво (в нашия случай – 1000). Поради тази причина и двата способа дават достатъчно адекватни оценки, но те сами по себе си са две различни величини.

От друга страна използването на стабилността на реалния добив за сравняване на колекции от генотипове, при тяхното независимо оценяване не може да бъде наречено адекватно. Това е свързано с факта, че реалния добив се базира на различаващи се фенотипни прояви за всеки изследван период. Подобни интерпретации могат да се основават единствено на стабилност на база моделиран добив, тъй като на практика всеки един от изследваните периоди бива унифициран по своята средна продуктивност. Поради тази причина твърдението, че българските сортове се характеризират с по-висока стабилност на моделирания добив, спрямо полските е достатъчно доказано от получените резултати. На практика посоченият от нас в предходното изследване (Stoyanov, 2024) извод, че „тъй като те (двете групи от генотипове) се различават значително както по своя продуктивен потенциал на база на представените резултати, така и по тяхната фенотипна стабилност, не може категорично да се заключи дали едната група или другата се характеризира с по-висока стабилност при изследване в контрастни условия на средата“ се доказва от настоящите ни резултати. Същевременно използвания модел показва, че някои български сортове като Бумеранг и Ирник се доближават до сортове като Траперо и Ремико по своят стабилен потенциал да реализират продуктивност над средната.

ИЗВОДИ

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

1. Разработен е, приложен и оценен модел, базиран на относителен добив за анализ на

продуктивните възможности на даден генотип да реализира продуктивност над средната при изследване на географски диференцирани съвкупности от сортове.

2. Приложения модел и резултатите за моделирания добив дават възможност изследваните съвкупности от български и полски сортове да бъдат сравнявани по между си, а също така да бъдат сравнявани и отделните генотипове между двете групи с различен географски произход.

3. С най-висока моделна продуктивност се характеризират сортовете Салто, Толедо, Казино, Теран и Бумеранг, като те се характеризират с най-висока способност да реализират продуктивност над средната за съответната съвкупност.

4. Най-висока комплексна стабилност на база на моделирания добив е установена при сортовете Бумеранг, Ирник, Благовест, Траперо и Ремико, а с ниска комплексна стабилност са Мусала, Силверадо, Казино и Алгосо.

5. При оценка на стабилността на отделните групи, всички използвани параметри основани на моделирания добив показват, че при изследваните условия на средата българските сортове се характеризират с по-висока стабилност, спрямо полските.

ЛИТЕРАТУРА

Barnett, R. D., Blount, A. R., Pfahler, P. L., Bruckner, P. L., Wesenberg, D. M., & Johnson, J. W. (2006). Environmental stability and heritability estimates for grain yield and test weight in triticale. *Journal of applied Genetics*, 47, 207-213.

Bento, V. A., Ribeiro, A. F., Russo, A., Gouveia, C. M., Cardoso, R. M., & Soares, P. M. (2021). The impact of climate change in wheat and barley yields in the Iberian Peninsula. *Scientific reports*, *11*(1), 15484.

Bevington, P. R., & Robinson, D. K. (2003). Data reduction and error analysis. *McGrawHill, New York*.

Blanca Mena, M. J., Alarcón Postigo, R., Arnau Gras, J., Bono Cabré, R., & Bendayan, R. (2017). Non-normal data: Is ANOVA still a valid option?. *Psicothema, 2017, vol. 29, num. 4, p. 552-557.*

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

Fu, H., Lu, J., Li, J., Zou, W., Tang, X., Ning, X., & Sun, Y. (2025). Winter Wheat Yield Prediction Using Satellite Remote Sensing Data and Deep Learning Models. *Agronomy*, *15*(1), 205.

Furman, B. J., Qualset, C. O., Skovmand, B., Heaton, J. H., Corke, H., & Wesenberg, D. M. (1997). Characterization and analysis of North American triticale genetic resources. *Crop Science*, *37*(6), 1951-1959.

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

Gauch Jr, H. G., Piepho, H. P., & Annicchiarico, P. (2008). Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further considerations. *Crop science*, *48*(3), 866-889.

Giunta, F., Motzo, R., & Deidda, M. (1999). Grain yield analysis of a triticale (× Triticosecale Wittmack) collection grown in a Mediterranean environment. *Field crops research*, *63*(3), 199-210.

Kozak, M., & Piepho, H. P. (2018). What's normal anyway? Residual plots are more telling than significance tests when checking ANOVA assumptions. *Journal of agronomy and crop science*, *204*(1), 86-98.

Meraj, G., Kanga, S., Ambadkar, A., Kumar, P., Singh, S. K., Farooq, M., ... & Sahu, N. (2022). Assessing the yield of wheat using satellite remote sensing-based machine learning algorithms and simulation modeling. *Remote Sensing*, *14*(13), 3005.

Michel, L., & Makowski, D. (2013). Comparison of statistical models for analyzing wheat yield time series. *PloS one*, *8*(10), e78615.

Motzo, R., Giunta, F., & Deidda, M. (2001). Factors affecting the genotype× environment interaction in spring triticale grown in a Mediterranean environment. *Euphytica*, *121*(3), 317-324.

Muratov, A. A., Epifantsev, V. V., & Tuaeva, E. V. (2023). Triticale potential model in the conditions of the Amur region. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 381, p. 01105). EDP Sciences.

Palosuo, T., Kersebaum, K. C., Angulo, C., Hlavinka, P., Moriondo, M., Olesen, J. E., ... & Rötter, R. (2011). Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates of Europe: A comparison of eight crop growth models. *European Journal of Agronomy*, *35*(3), 103-114.

Pilipenko, J. S., & Grib, S. I. (2023). Evaluation of collection varieties of spring triticale for adaptive capacity and stability. *Agriculture and breeding in Belarus*, (59), 254-261. (Ru)

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

Stoyanov, H., Baychev, V., Petrova, T., & Mihova, G. (2017a). 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., Baychev V. & Mihova G. (2017b). Analysis and assessment of yield ranking models in Triticale (×*Triticosecale* Wittm.) in contrasting environmental conditions. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty. The Special Issue of 2-nd International Balkan Agriculture Congress, May 16-18, 2017*, 83-90.

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. (2023). Influence of drought on the heading in Bulgarian triticale cultivars. *Bulgarian Journal of Crop Science*, 60(5), 3-16.

Stoyanov, H., & Baychev, V. (2023). Analysis of genotype x environment interaction in triticale lines with AMMI and PCA. *AgroLife Scientific Journal*, *12*(2), 190-199.

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.

Touré, A., Major, D. J., & Lindwall, C. W. (1995). Comparison of five wheat simulation models in southern Alberta. *Canadian journal of plant science*, *75*(1), 61-68.

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. & Yanchev, I. (2022). Indices for assessing the adaptation of wheat in the genotype x environment interaction. *Rastenievadni nauki 59*(2) 16-34 (Bg).

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

Yan, W., & Kang, M. S. (2002). *GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists*. CRC press.

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.

Yan, W. (2008). Use of Heritability Adjusted Relative Values (HARV) in Variety Trial Summary. *ECORC, Jan 2008.*

Yan, W., & Holland, J. B. (2010). A heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation. *Euphytica*, *171*(3), 355-369.

Yau, S. K., & Hamblin, J. (1994). Relative yield as a measure of entry performance in variable environments. Crop Science, 34(3), 813-817.

Zenkina, K. V. (2020). Ecological stability of triticale samples in the conditions of the Khabarovsk territory. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 547, No. 1, p. 012047). IOP Publishing.

Received: October, 11, 2025; *Approved:* November, 21, 2025; *Published:* December, 2025