https://doi.org/10.61308/UJJL5204

Избор на родителски двойки при обикновена зимна пшеница *(Triticum aestivum)* за намаляване на биомасата

Даниела Тончева*, Златина Ур
Институт по растителни и генетични ресурси „К. Малков", ул. Дружба 2, 4122 Садово, България, Селскостопанска академия - София
*E-mail: *daniela_toncheva_1992@abv.bg*
Даниела Тончева ORCID ID 0009-0007-2517-2342
Златина Ур ORCID ID 0000-0001-6317-4663

Резюме: За правилна преценка на родителите, които участват в хибридизационната програма, и определянето на родителските двойки, всеки селекционер се нуждае от правилно проучване върху интересуващите го признаци и тяхното взаимодействие в генома. За успешно съчетаване на признаците в новия геном и получаване на нови форми е нужно да се използват генетически раздалечени форми. Обект на настоящото изследване са 94 български, турски, унгарски, френски, сръбски сорта и напреднали линии обикновена зимна пшеница. Материалите са изпитвани през периода 2023–2024 г. на опитното поле на ИРГР, Садово. Отчитани при биометричния анализ бяха: височина на растението (PH), обща братимост (TT) и продуктивна братимост (PT), дължина на централен клас (CSL), брой класчета в централен клас (SNCS), маса на зърна в централен клас (GWCS), маса на зърната в останалите класове (GWOS), брой зърна в останалите класове (GNOS), брой зърна в 1 растение (GN1P) и тегло на зърната в 1 растение (GW1P). По утвърдена методика (Georgiev et al., 2014) всяка от тези групи показатели получи бална оценка, която участва във формирането на общия бал. В това проучване са използвани компонентния, клъстерния, корелационния и факторния анализ. Установени са източниците на вариране на снетите при биометричния анализ показатели. Направен е избор на родителски двойки, съобразен с линейния модел. Определена е генетическата отдалеченост на образци от българската и чужда колекция.

Ключови думи: избор, родителски двойки; обикновена зимна пшеница; намаляване на биомасата

Parent pair selection in common winter wheat *(Triticum aestivum)* for biomass reduction

Daniela Toncheva*, Zlatina Uhr
Institute of Plant and Genetic Resources "K. Malkov", 2 str. Druzhba 2, 4122 Sadovo, Bulgaria, Agricultural Academy - Sofia, Bulgaria
*E-mail: *daniela_toncheva_1992@abv.bg*
Daniela Toncheva ORCID ID 0009-0007-2517-2342
Zlatina Uhr ORCID ID 0000-0001-6317-4663

Citation: Toncheva, D., & Uhr, Zl. (2025). Parent pair selection in common winter wheat (*Triticum aestivum*) for biomass reduction. *Bulgarian Journal of Crop Science*, *62*(6) 3-19 (Bg).

Abstract: For a proper evaluation of the parents involved in the hybridization program and the determination of the parental pairs, each breeder needs a proper study on the traits of interest and their interaction in the genome. To successfully combine the traits in the new genome and obtain new forms, it is necessary to use genetically distant forms. The object of the present study were 94 Bulgarian, Turkish, Hungarian, French, Serbian varieties and advanced lines of common winter wheat. The materials were tested during the vegetation period 2023-2024

in the experimental field of IPGR, Sadovo. Plant height (PH), total tillering (TT) and productive tillering (PT), central spike length (CSL), spikelets number in central spike (SNCS), grain weight in central spike (GWCS), grain weight in other spike (GWOS) and number of grains in other spike(GNOS), number of grains per 1 plant (GN1P) and grain weight per 1 plant (GW1P) were considered in the biometric analysis. According to a validated methodology (Georgiev et al., 2014), each of these groups of indicators was given a score that participated in the formation of the total score. Component, cluster, correlation and factor analysis were used in this study. The sources of variation of the scores taken in the biometric analysis were identified. The selection of parent pairs was made according to the linear model. The genetic distance of samples from Bulgarian and foreign collections was determined.

Keywords: parent pair; selection; common winter wheat; biomass reduction

ВЪВЕДЕНИЕ

Пшеницата (*Triticum aestivum L.*) се отглежда във всички географски региони поради високия си потенциал за добив и адаптивността си към широк спектър от климатични условия (Geren, 2021). Към 2023-2024 г. Китай, Европейският съюз и Индия са водещи в световното производство на пшеница (USDA, Foreign Agricultural Service, n.d.). Тя е най-широко отглежданата хранителна култура, като през 2020 г. са произведени 761 милиона тона в световен мащаб. За да се отговори на очакваното търсене на зърно до средата на века, стратегиите за селекция на пшеница трябва да продължат да се подобряват, като се вземат предвид физиологичните характеристики, повишаващи добива, независимо от въздействието на изменението на климата (Guarin et al., 2022). В съвременния свят обикновената пшеница има първостепенно значение за изхранването на човечеството и е разпространена в почти всички географски ширини (Rodomiro et al., 2008, Afzal et al., 2023, Shaukat and Anwar, 2023). Тя е основен източник на протеини и калории в ежедневната човешка диета (Arzani and Ashraf, 2017; Nyaupane et al., 2024).

Изменението на климата представлява огромно предизвикателство за селското стопанство през следващите десетилетия, поради широко разпространения му характер, потенциалната му тежест и непредсказуемостта на въздействието му. Ще бъде ли сушата основният проблем в даден район, наводненията или топлинният стрес? Селекционерите на растения трябва да мислят за много години напред, но има големи несигурности в климатичните прогнози на Глобалните климатични модели (IPCC, 2021).

Устойчивото увеличение на производството е предпоставка за задоволяване на настоящите и бъдещите хранителни нужди на света. Съществуваше предварителна необходимост от увеличаване на добива с 50%, за да се задоволят хранителните нужди на световното население и да се сложи край на глада и недохранването (Paudel et al., 2020). Въпреки че световното производство на пшеница продължава да се увеличава през последните десетилетия (FAOSTAT, 2022), темпът на подобряване на добивите е стагнирал или е намалял в някои регионални райони, произвеждащи пшеница (напр. Източна Европа, Централна Индия и Западна Австралия) (Ray et al., 2012), а прогнозираните увеличения на добивите са под прогнозираното бъдещо търсене на зърно (Ray et al., 2013; Crespo-Herrera, 2017, 2018). Нарастването на продукцията може да се постигне и чрез създаването на нови, още по-високо добивни сортове пшеница. Това е нелека задача пред селекционерите. Успехът на програмите за селекция на растения зависи от способността за комбиниране между родителите, което е определящ фактор за формирането на превъзходни сегрегиращи популации (Kurek et al., 2001).

Чрез определяне на генетичното разстояние за правилен подбор на родителските форми може да се постигне сериозен напредък в потенциала за добив на рекомбинантните генотипове (Islam, 2004). Колкото родителските форми са по-отдалечени генетично, толкова по-големи са възможностите за взаимодействие на гените под формата доминиране и епистаз, водещи до увеличаване на потенциала за хетерозис и трансгресии (Falconer, 1989; Stamatov and Deshev, 2015). Някои изследователи с голям успех прилагат методите на клъстерен анализ и PC-анализ за определяне на генетичната отдалеченост в селекцията (Bhatt, 1970; Carves et al., 1987; Eivazi et al., 2007; Mohammadi and Prassana, 2003).

Целта на настоящата статия е да се направи анализ на резултатите от проучването върху български и чуждестранни сортове и напреднали линии, които да бъдат включени като родителски двойки в хибридизационна програма.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

Растителен материал

Обект на настоящото изследване бяха 94 български, турски, унгарски, френски, сръбски сорта и напреднали линии обикновена зимна пшеница (Таблица 1). Материалите са изпитвани през периода 2023–2024 г. на опитното поле на ИРГР, Садово. Отчетени при биометричния анализ бяха: височина на растението (РН), обща братимост (ТТ) и продуктивна братимост (РТ), дължина на централен клас (CSL), брой класчета в централен клас (SNCS), маса на зърна в централен клас (GWCS), маса на зърната в останалите класове (GWOS), брой зърна в останалите класове (GNOS), брой зърна в 1 растение (GN1P) и тегло на зърната в 1 растение (GW1P). Изчислени са ND PH1 – Брой дни поникване, ND PH2 – Брой дни трети лист/братене, ND PH3 – Брой дни Вретенене/ изкласяване, ND PH4 – Брой дни цъфтеж/ узряване, TS PH1 – Температурна сума -поникване, TS PH2 - Температурна сума – трети лист/ братене, TS PH3- Температурна сума – Вретенене/ изкласяване, TS PH4 - Температурна сума- цъфтеж/ узряване. По утвърдена методика (Georgiev et al., 2014) всяка от тези групи показатели получи бална оценка, която участва във формирането на общия бал.

Статистическа обработка на данните

Извърши се математическа обработка на данните от биометричния анализ. Използвани са компонентен, клъстерен и корелационен анализ и анализ на варианса. Компонентният анализ се използва за определяне на факторите, които допринасят за промяната на количествените изменения в признаците по метода на максималната вероятност. Клъстерният анализ показва генетическата отдалеченост на образците по варианса на фенотипното проявление в измерваните признаци. Корелационият анализ дава възможност за преценка на силата на влияние между отделните показатели.

Анализът на варианса, корелациите, клъстерирането и компонентния анализ са извършени с помощта на статистическата програма SPSS 19.0.

Оценка на компонентите на вариацията, фенотипните и генотипните варианси се оценяват съгласно метода, предложен от Burton and Devane (1953), както следва:

Варианс, дължащ се на околната среда ($\sigma 2e$) = Mse

Фенотипен варианс ($\sigma 2p$) = ($\sigma 2g+\sigma 2e$)

Генотипен варианс ($\sigma 2g$) = $\frac{Mse-Mst}{r}$, където:

Грешка на средната, Mst - обработка по метода на средния квадрат и r - повторение

Фенотипен коефицент на вариация и генотипен коефицент на вариация

Фенотипен коефицент на вариация (PCV) = $\frac{\sqrt{\sigma^2 px}}{x} x100$

Таблица 1. Легенда за изследваните генотипове
Table 1. Legend of the genotypes studied

№	**Сорт/ Линия** Variety/Line	№	**Сорт/ Линия** Variety/Line	№	**Сорт/ Линия** Variety/Line	№	**Сорт/ Линия** Variety/ Line
	България/ *Bulgaria*		***България/*** *Bulgaria*		***Турски/*** *Turkish*		***Мутанти здрави и ниски***
1	**Садово 1 - St1/** Sadovo 1- St1	**29**	**Енола- St 2** Enola – St 2	**55**	Esperia		*Mutants resistant and low* stemmed
2	**Енола- St 2/** Enola – St 2	**30**	РУ 179/1038	**56**	Rumeli	**75**	**здрави 1 ред-1п**./ Resistant 1 row -1
3	МХ 270/28	**31**	РУ 180/1043	**57**	Glosa	**76**	**здрави 4 ред-2п.** Resistant 4 row -2
4	МХ 270/50	**32**	РУ 106/1199		***Френски/*** *French*	**77**	**здрави 5 ред-3п**./ Resistant 5 row -3
5	РУ 129/3053	**33**	РУ138/1317	**58**	**Алхамбра/** Alhambra	**78**	**здрави 6 ред-4п./** Resistant 6 row -4 plot
6	РУ 33/3244	**34**	РУ 250/247	**59**	**Состен/** Sosten	**79**	**здрави 11ред-5п./** Resistant 11 row -5
7	МХ 258/3355	**35**	РУ 250/256	**60**	**Фаладо/** Falado	**80**	**здрави 15ред-6п./** Resistant 15 row -6
8	МХ 270/3461		***Унгарски/*** *Hungarian*		***Сръбски/*** *Serbian*	**81**	**здрави 16ред-7п./** Resistant 16 row -7 plot
9	МХ 285/1058	**36**	MV - NADOR	**61**	Dunav	**82**	**здрави 23ред-8п./** Resistant 23 row -8
10	РУ 48/2553	**37**	MV -NEMERE	**62**	Bezostaya	**83**	**здрави 24ред-9п./** Resistant 24 row -9
11	МХ 286/1759	**38**	MV - MENROT	**63**	Libellula	**84**	**здрави 25ред-10п./** Resistant 25 row -10
12	МХ 286/1777	**39**	MV - MENTE	**64**	Hibrido.13	**85**	**ниски 2 ред- 1п.** /Low stemmed 2 row – 1 plot
13	РУ 47/3504	**40**	MV - KAPLAR	**65**	Orosanka K6	**86**	**ниски 5 ред- 2п.** /Low stemmed 5 row – 2 plot
14	МХ 272/3872	**41**	MV- DANDAR	**66**	Novosadska vrkuva	**87**	**ниски 6 ред- 3п./** Low stemmed 6 row – 3 plot
15	РУ 134/1343	**42**	MV - KAREJ	**67**	Novosadska 100	**88**	**ниски 7 ред- 4п./** Low stemmed 7 row – 4 plot
16	РУ 177/486	**43**	MV- KRAJCAR	**68**	Kragujevacka 58	**89**	**ниски 9 ред- 5п.** /Low stemmed 9 row – 5 plot
17	РУ 135/1456	**44**	MV- FELLEG	**69**	Mara	**90**	**ниски 13ред-6п.** /Low stemmed 13 row -6 plot
18	РУ 179/1400	**45**	MV - UNCIA	**70**	Novosadska rana2	**91**	**ниски 15ред-7п./** Low stemmed 15 row -7 plot
19	РУ 134/1370	**46**	MV - ISPAN	**71**	Partizanka	**92**	**ниски 17ред-8п./** Low stemmed 17 row -8 plot
20	РУ 251/268	**47**	MV- SEUSO	**72**	Bacvanka 1	**93**	**ниски 20ред-9п./** Low stemmed 20 row -9 plot
21	РУ 251/269	**48**	MV - TARSOLY	**73**	San pastore	**94**	**ниски 25ред-10п./** Low stemmed 25 row-10plot
22	РУ 252/292	**49**	MV - DALLAM	**74**	Banacanka 1		
23	РУ 252/293	**50**	MV - IKVA				
24	РУ 253/305	**51**	MV - PANTLIKA				
25	РУ 175/382	**52**	MV - TAJTEK				
26	РУ 179/534		***Френски /French***				
27	РУ 135/1439	**53**	**Авеню/** Avenue				
28	РУ 261/210	**54**	**Анапурна/** Annapurna				

Генотипен коефицент на вариация (GCV) = $\frac{\sqrt{\sigma^2 gx}}{x} x100$

където: σ2p- фенотипна вариация, σ2g- генотипна вариация, x средна стойност на признака.

От Johnson et al. (1955) бяха определени генетичен напредък (GA) и генетичен напредък като процент от средната (GAM).

$GA = \frac{K \times \sqrt{\sigma^2 p} \times \sigma^2 g}{\sigma^2 p}$, където

GA - Постигнатия генетичен напредък

k - стандартизиран диференциал на селекцията при 5% интензивност на подбора (K = 2.063)

σ2p - Фенотипен вариянс

σ2g - Генотипен вариянс

$GAM(\%) = \frac{GA}{x} \times 100$, където

GAM - Генетичен напредък спрямо средната

GA - Постигнатия генетичен напредък

x - средна стойност на признака

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Избор на родители – обикновена зимна пшеница

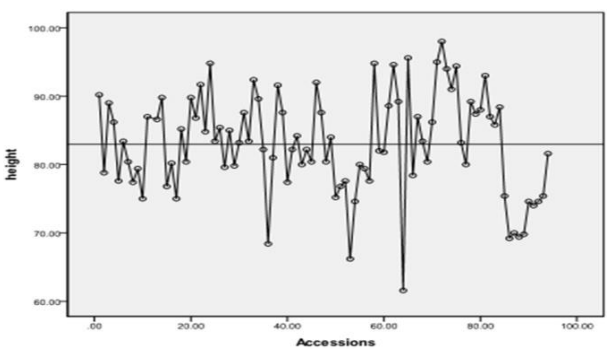
Поради продължаващото нарастване на световното население, предвиждат, че до 2050 г. световните нужди от храна трябва да се удвоят (FAOSTAT, 2024). Причини като ограничените обработваеми площи и увеличаването на производствените ресурси подчертават, че увеличаването на производството на пшеница трябва да е резултат главно от повишаването на добива от единица площ и иновациите в селекцията на растенията. Правилният подбор на родителските компоненти и последващото проучване на хибридните потомства по признаците, свързани с продуктивността е важно условие в теоритичните разработки (Popova, 2024). Успехът на всяка програма за отглеждане зависи преди всичко от правилния подбор на родителите, от системата за кръстосване, която ще се използва и накрая - от преценката на селекционера, при избора на желаните по-добри генотипове в сегрегираните популации. В процеса на разработване на подходящи селекционни методи селекционерите на растения могат да извлекат голяма полза от разбирането на вида и тежестта на хетерозиса и инбридинг депресията (Kuckuck et al., 1991).

Средната височина на растението в проучваните образци е 82.9 cm. С най-високо стъбло – 98.0 cm е № 72, а с най-ниско – 66.2 cm е № 53, (Фигура 1).

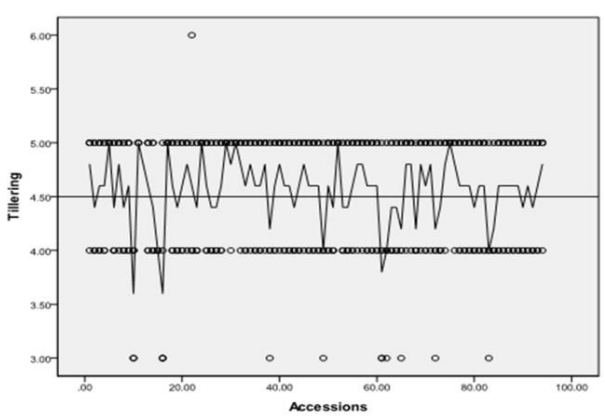
Показателят височина на растението е с висока вариабилност – вариансът е със стойност 86.7 (Фигура 1). Най-слабо показателят варира при образец с № 25, вариансът на който е 1.3. Най-силно вариабилен е № 63 със стойност на варианса 90.2. Показателят се влияе в еднаква степен от условията на околната среда и генома. Фенотипният коефициент на вариране е със стойност 13.1%, а генотипният е 10,5%. Постигнатият генетичен напредък спрямо средната е с ниска стойност (по-малка от 10%). Това показва, че показателят няма да е податлив на изменение в бъдещите потомства.

Общата братимост в проучваната колекция е със средна стойност 4.6 броя. С най-много братя се отличават образците с №: 11, 17, 29, 52 и 75. Те продуцират средно по 5 братя от растение. С най-малко братя от растение се отличават образци № 10 и 16 със среден брой братя 3.6 (Фигура 2). Показателят обща братимост не варира във висока степен и варианса в проучваната колекция е със стойност 0.308. Той се влияе в еднаква степен от условията на околната среда и генома. Фенотипният коефициент на вариране е 15.7%, а генотипния е със стойност 10.4%. Постигнатия генетичен напредък е със стойност над 10% и това показва, че показателят ще може да бъде използван за генетично подобрение в бъдеща селекционно подобрителна работа с него. В годината на проучване общата братимост е равна на продуктивната братимост.

Дължината на централен клас в проучваните образци е 10,5 см (Фигура 3). Най-дълъг клас има образец № 33 със средна дължина на класа 13.7 cm. Най-къс е класа при образец № 66 със средна дължина 7.5 cm (Фигура 3). Показателят е със средна стойност на вариансa 1.78. Най-стабилен е варианса при образец № 60 със стойност на варианса 0.05, а най-вариабилни са образци № 29 и 37 със стойност на варианса 2.050. Дължината на централният клас се влияе в еднаква степен от условията на околната среда и генома. Фенотипният коефициент е със стойност 13.4%, а генотипния е със стойност 10.4%. Постигнатият генетичен напредък спрямо средната е със стойност 22.6% и показателя може да бъде използван в бъдеща селекционно-подобрителна работа.

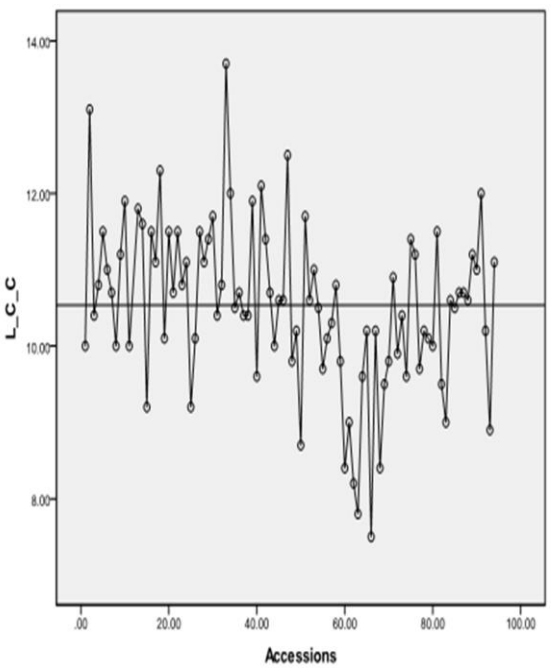


Фигура 1. Височина на растението
Figure 1. Plant height

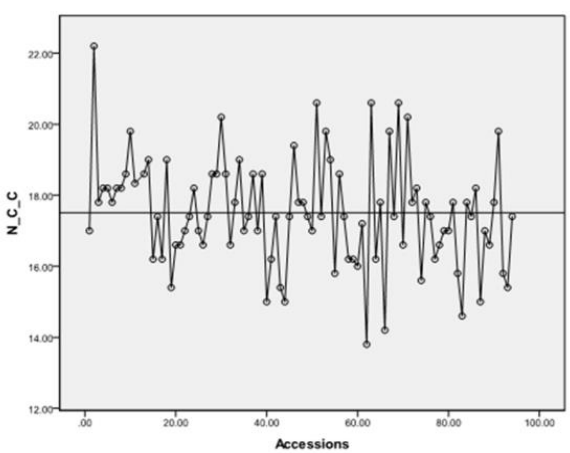


Фигура 2. Обща братимост
Figure 2. Total tillering

Броят на класчета в централен клас, продуцирани от образците в проучваната колекция е със средна стойност 17.5 (Фигура 4). Най-много класчета в клас образува образец № 2. При него те са средно 22.2 броя. Най-малък брой класчета в клас продуцира образец с № 66 със средно 14.2 (Фигура 4). Вариабилността на показателя е със стойност 4.1.



Фигура 3. Дължина на централен клас
Figure 3. Length of the central spike



Фигура 4. Брой класчета в централен клас
Figure 4. Spikeles number in central spike

Най-малък е вариансът 0.8 при образци № 9, 13, 16, 19, 20, 26, 28, 31, 39, 43, 51, 63, 68, 69, 78, 83, 89 и 94. Най-силно варира този показател при образец № 4 със стойност на варианса 11,2. Условията на околната среда и генома влияят в различна степен при формирането на този показател. Фенотипното влияние е с коефициент над 20%, а генотипното с коефициент под 20%, което показва определящата роля на условията на околната среда над генотипа при формирането му. Постигнатият генетичен напредък спрямо средната е със стойност 13.2, което показва, че броя на класчетата в централен клас могат да се повлияват от селекционно-подобрителна работа, макар и в слаба степен.

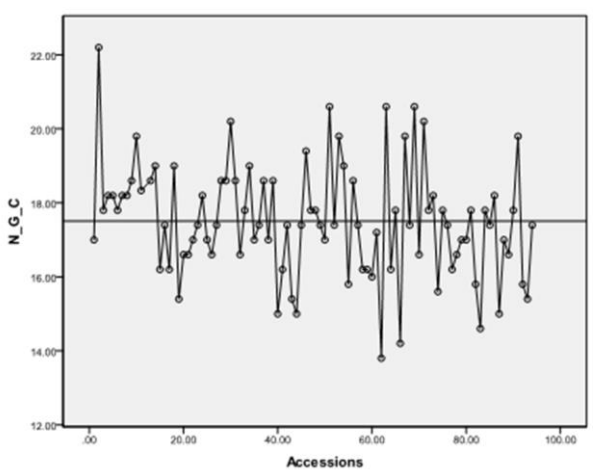
По отношение на броя на зърната в централен клас средната стойност получена в групата образци е 42.7. Най-много зърна в централен клас продуцира образец с № 14, който образува 61,6 броя зърна в централен клас. Най-малко зърна в централен клас формира образец № 62 със среден брой 27.8 (Фигура 5). Показателят е със среден вариянс 115,9, което показва силната му вариабилност. Най-слабо варира той при образец № 63 със стойност на варианса 2.3, а най-силно вариабилен е образец № 27 със стойност на варианса 379.3.

Броят на зърната в централен клас се влияе в много по-силна степен от условията на средата, фенотипен коефициент 22.7%, отколкото от генома – генотипен коефициент 10.5. Показателят не подлежи на генетично подобрение, генетичния напредък спрямо средната е по-нисък от 1%.

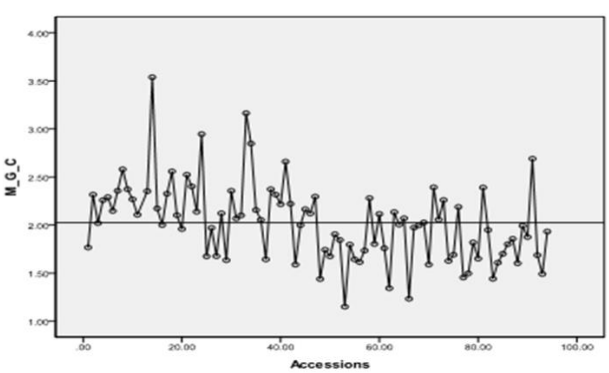
Масата на зърната в централен клас в проучваната група образци е със средна стойност 2.02 g. (Фигура 6). Най-висока маса на зърната в централен клас продуцира образец с № 14 със средна стойност на показателя 3.53 g., а най-ниска тя е при образец с № 66 със средна стойност 1.23 g. Показателят маса на зърната в централен клас варира със средна стойност на варианса 0.352. Всички проучвани образци са стабилни по отношение на този показател. Масата на зърната в централен клас се влияе в много по-силна степен от условията на средата, фенотипен коефициент 26.2%, отколкото от генома – генотипен коефициент 10.5. Показателят подлежи на генетично подобрение, генетичния напредък спрямо средната е висок.

Броят на зърната в останалите класове е със средна стойност 110.4. Образец № 34 формира най-голям брой зърна в останалите класове и техния среден брой е 171,0, а най-малко формира образец № 62 със среден брой зърна в останалите класове 62 (Фигура 7).

Показателят варира със средна стойност на варианса 1087,1. Високата средна стойност на варианса при този показател се дължи на силното вариране на образец с № 67 със



Фигура 5. Брой зърна в централен клас
Figure 5. Spikeles number in central spike

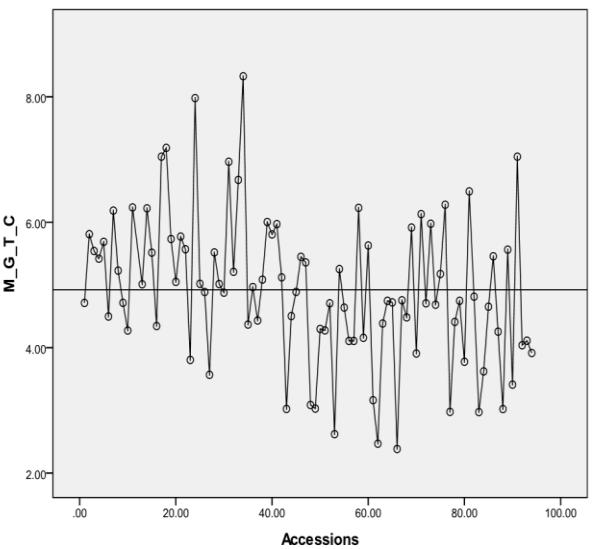


Фигура 6. Маса на зърната в централен клас
Figure 6. Grain weight in central spike

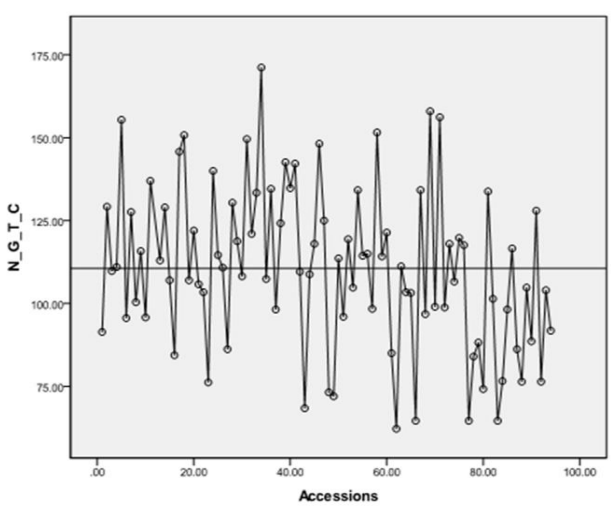
стойност на варианса 3127.7. Най-слабо варира показателя при образец № 83 със стойност 30.3. Броят на зърната в останалите класове е повлиян в по-силна степен от условията на околната среда – фетотипният коефициент на вариране е със стойност 25,4, а генотипният е с по-слабо влияние върху показателя и е със стойност 10.6. Генетичният напредък спрямо средната е със стойност по-ниска от 10% и това прави възможностите за неговото подобрение малки.

Масата на зърната в останалите класове е със средна стойност 4.9 g (Фигура 8). Обрацзец № 18 е с най-голяма стойност на този показател - 7.1 g, а най-леки са зърната в останалите класове при образец № 66 с маса 2.4 g, (Фигура 8). Показателят маса на зърната в останалите класове е със слабо вариране със стоност на варианса 2,7. Най-силно той варира при образец № 67 със стойност на ваианса 6.1, а най-слабо при обазец № 53 със стойност на ваианса 0.091. Маса на зърната от останалите класове се влияе силно от условията на средата и генотипа. Коефициентите на вариране по фенотип и генотип са над 40%. С показателя може да се работи за генетичното му подобрение в бъдеща селекционно-подобрителна работа, тъй като генетичният напредък спрямо средната е висок.

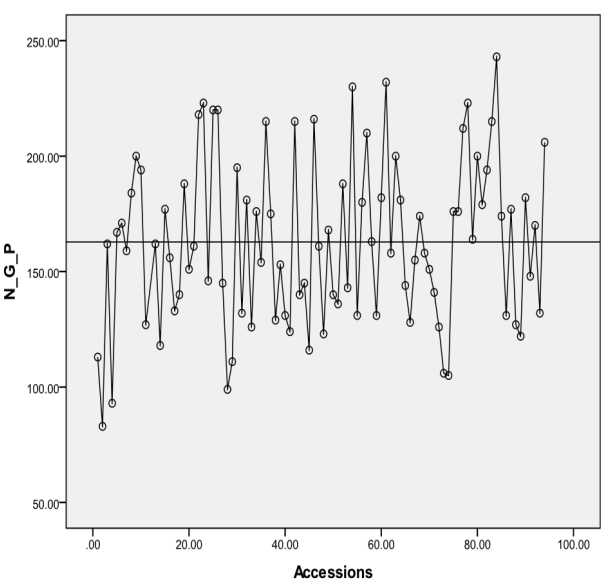
Средният брой на зърната в едно растение от проучваните образци е 153.2. Най-голям брой зърна формира образец № 69, при който те са 207,4, а най-малко брой зърна в растение 90 формира образец № 62 (Фигура 9).



Фигура 8. Маса на зърната в останалите класове
Figure 8. Grains weight in the other spike



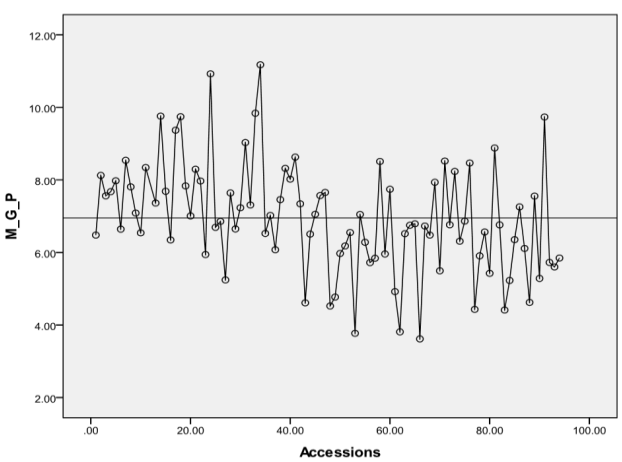
Фигура 7. Брой на зърната в останалите класове
Figure 7. Grains number in the other spikes



Фигура 9. Брой на зърната в растение
Figure 9. Average grains number per plant

Показателят е със стойност на варианса 1572.6. Високата стойност на варианса се дължи на голямата вариабилност на показателя при образец № 67 със стойност на варианса 3498.5. Най-стабилен е той при образец № 83 със стойност на варианса 24.7. Показателят се влияе в по-силна степен от условията на средата, отколкото от генома, коефициенти на вариране по фенотип и генотип съответно 21.4% и 10.5%. Броят на зърната в растение е слабо податлив на генетично подобрение с коефициент на генетичният напредък спрямо средната под 10%.

Масата на зърното в растение при изпитваната група образци е със средна стойност 6.9 g. Най-висока маса формират растенията от образец № 34 със средна стойност 11.2 g. Най-ниска маса на растенията продуцира образец № 66, чиято средна стойност е 3.6 g. (Фигура 10). Показателят е със стойност на средния варианс 4,1. Най-силно вариабилен е той при образец № 87 със стойност 8.2, а най-стабилен е образец № 83 със стойност на варианса 0.129. Условията на средата оказват по-силно влияние върху проявлението на признака с коефициент на вариране 24.2, а генотипът влияе върху проявлението на показателя със коефициент на вариране 10.6. Показателят дава възможност за генетично подобрение, защото генетичният напредък спрямо средната е със стойност 22.3%.



Фигура 10. Маса на зърната в растение
Figure 10. Grain weight per plant

Растежът и развитието често се описват по отношение на календарни дни и календарното време е използвано за прогнозиране на етапите на развитие (Slafer et al., 1991). Въпреки това са предложени няколко модела, които описват ефекта на температурата върху фенологичното развитие като подобрения на използване на календарно време за прогнозиране на развитието (Warrington and Kanemasu,1983a; 1983b, Salazar-Gutierrez et al., 2013). Един от най-широко използваните методи е натрупването на средна дневна температура на база температура (Tb) (Monteith, 1984), известна като градус дни или термично време (физиологично време).

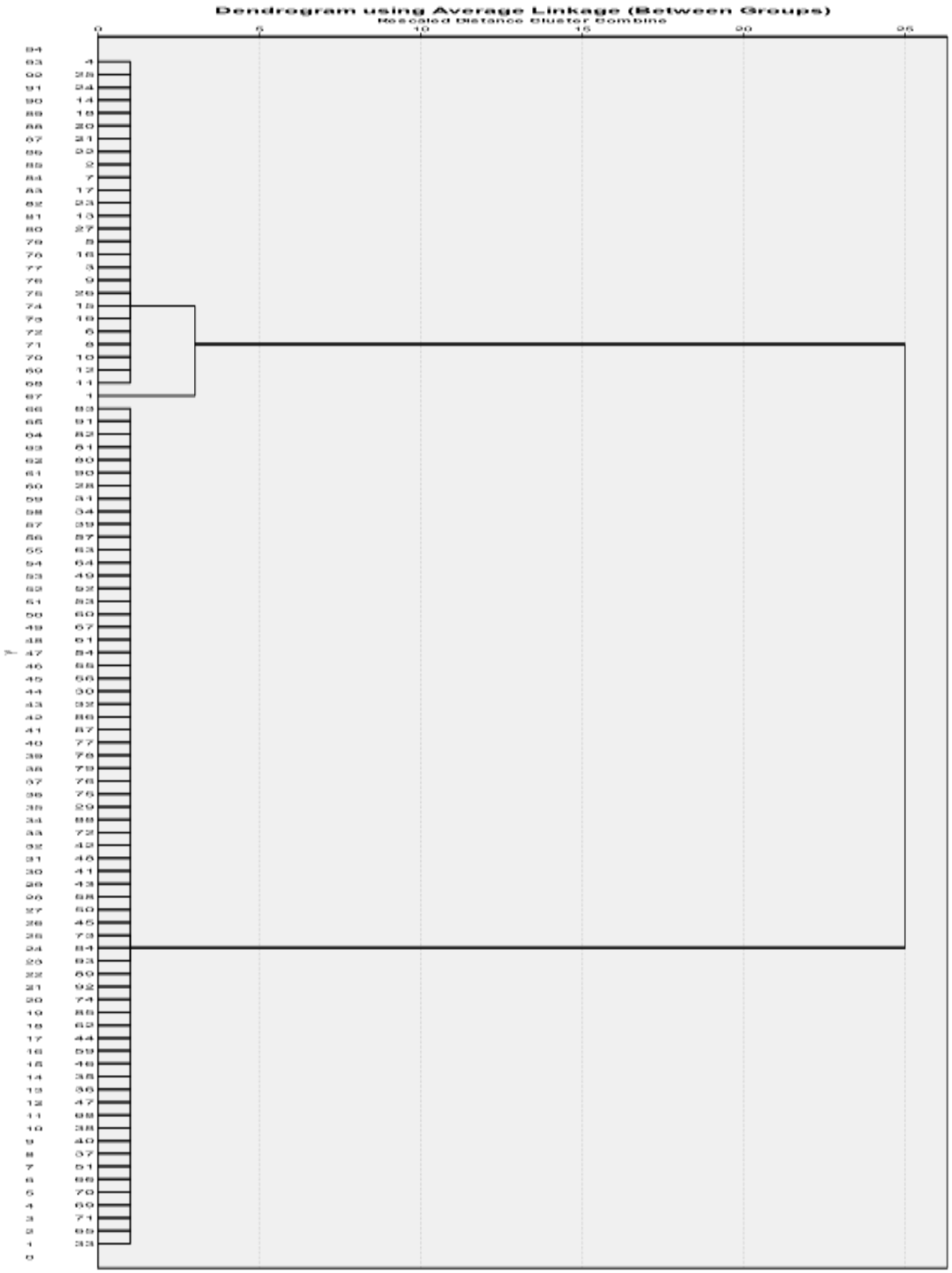
Броят дни за поникване на проучваните образци е от 21 до 23. Образците с № 64, 67 и 71 поникват най-късно. Температурната сума, необходима за протичане на тази фенофаза се колебае съответно между 228.9 и 245.2°C. От фаза трети лист до фаза братене броят на дните се колебае между 33 и 35 дни, а необходимата температурна сума е съответно 104.7 до 109.7°C. Междуфазният период вретенене-изкласяване протича за период от 15 до 27 дни. Най-бързо тя протича при образец с № 34 - за 15 дни, а най-бавно при образци с № 61, 62 и 68 - за 27 дни. Температурната сума, необходима за протичане на този период е съответно от 244.9 до 438.2°C. Етапът на развитие цъфтеж-узряване протича за период между 59 и 64 дни. Най-бързо протича тази фенофаза при образец с № 58, а най-бавно при образци № 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73 и 74. Терпературната сума, необходима за протичане на този междуфазен период е съответно 1122.4 до 1266.1°C.

Резултативният признак маса на зърна в едно растение (g) е в пряка положителна връзка с всички проучвани морфологични признаци. Тя нараства с увеличаване на броя дни от фенофазвия период трети лист/братене и температурната сума във фенофазния период цъфтеж/узряване. Масата на зърното в едно растение (g) намалява доказано с увеличаване на броя дни, необходими за протичане на фенофазата вретенене /изкласяване.

Таблица 2. Корелационни зависимости
Table 2. Correlation dependences

studed trats	GW1P	HP	TT	PT	CSL	SNCS	GNCS	GWCS	GNOS	GWOS	GN_1P	**Поникване/** Germination		**3 лист/ братене/** 3 leaf/ tillering		**Вретенене/ изкласяване** stem elongation/ heading		**Цъфтеж/ узряване** flowing/ maturity	
												ND-PH1	**Σ t (°C)**	ND-PH2	**Σ t (°C)**	ND-PH3	**Σ t (°C)**	ND-PH4	**Σ t (°C)**
GW1P	1	0.267**	0.355**	0.349**	0.505**	0.351**	0.707**	0.874**	0.821**	0.986**	0.826**	0.016	0.007	.423**	0.132	-.347**	0	-0.124	0.311**
HP		1	0.006	-0.003	0.031	0.052	0.121	0.276**	0.16	0.248*	0.157	0.11	0.11	0.049	0.097	0.092	0.072	.220*	0.063
TT			1	0.997**	0.139	0.079	0.148	0.11	0.485**	0.419**	0.421**	0.025	0.056	0.117	0.048	-0.093	-0.071	-.253*	-0.074
PT				1	0.132	0.082	0.146	0.103	0.487**	0.414**	0.422**	0.027	0.058	0.112	0.051	-0.086	-0.065	-.255*	-0.085
CSL					1	0.467**	0.534**	0.553**	0.388**	0.459**	0.439**	-0.163	-0.159	0.443**	0.037	-.0275**	-0.258*	-.337**	0.247*
SNCS						1	0.519**	0.358**	0.438**	0.328**	0.475**	0.149	0.101	0.234*	.218*	-0.093	-0.086	-0.051	0.139
GNCS							1	0.779**	0.795**	0.642**	0.877**	0.047	0.011	0.438**	0.177	-0.152	-0.158	-.311**	0.196
GWCS								1	0.617**	0.780**	0.681**	0.009	-0.016	0.413**	0.113	-0.248*	-.239*	-0.099	0.366**
GNOS									1	0.845**	0.989**	0.119	0.112	0.354**	0.202	-0.194	-0.2	-.260*	0.107
GWOS										1	0.828**	0.017	0.014	0.402**	0.131	-0.361**	-.355**	-0.125	0.274**
GN_1P											1	0.106	0.091	0.389**	0.204	-0.192	-0.198	-.283**	0.133
Поникване Germination												1	0.966**	-.0222*	.708**	0.069	0.048	.499**	-0.184
													1	-.0216*	.683**	0.104	0.08	.486**	-0.179
3 лист/ братене 3 leaf/tillering														1	.273**	-.0479**	-0.456**	-0.166	0.692**
															1	-0.093	-0.099	0.269**	0.185
Вретенене/ изкласяване stem elongation/ heading																1	0.989**	0.082	-.396**
																	1	0.072	-0.356**
Цъфтеж/ узряване flowing/ maturity																		1	0.131
																			1

***,Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)*
**,Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed*



Фигура 11. Клъстерни групи
Figure 11. Cluster groups

Корелационните коефициенти са показани в Таблица 2. С тяхна помощ и използването на преките корелации е съставено линейно уравнение на растението, характеризиращо се с висок добив, което има следния вид:

y = a + b*x.

У = -0.06 +0.0001*x1 – 0.003*x2 + 0.003* x4 + 0.0002*x5 – 0.0002*x6 + 0.00007*x7 + 0.1*x8 – 0.00002*x9 + 1.0*x10 + 0.00002*x11 + 0.00001*x12 – 0.0000009*x13

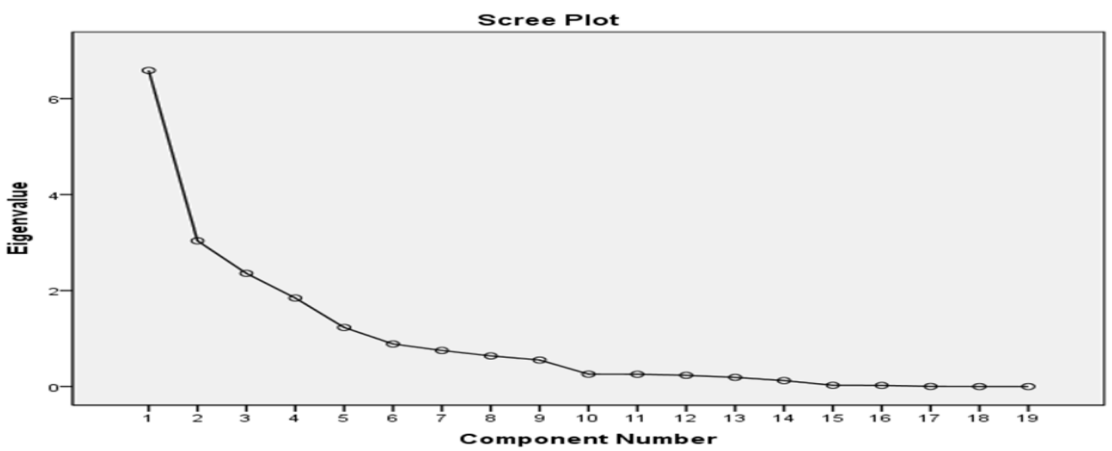
Генетичната дистанция между родителите е от съществено значение, за да се извлече полза от трансгресивната сегрегация. При по-голяма генетична дистанция между родителите може да се наблюдава по-висок хетерозис в полученото потомство. Оценката на генетичната дистанция е един от подходящите инструменти за подбор на родители в програмите за кръстосване при пшеницата, а подходящият подбор на родители е необходим за използване в кръстосаните селекционни материали за подобряване на генетичната рекомбинация с цел повишаване на добива на зърно (Khodadadi et al., 2011; Dimitrov et al., 2021).

Според генетичната си отдалеченост по измерваните морфо-биологични показатели групата от проучваните образци се разделя в две клъстерни групи (Фигура 11). С голяма еуклидова дистанция са образци с номера: 84, 73, 45, 50, 58, 43, 41, 48, 42, 72, 88, 29, 75, 76, 79, 78, 77, 87, 86, 32, 30, 56, 55, 54, 61, 67, 60, 53, 52, 49, 64, 63, 57, 39, 34, 31, 28, 90, 80, 81, 82, 91 и 83.

Според разпределението на проучваните морфо-биологични показатели по отношение на коварианса, те се разпределят в два значими компонента по-големи от 1. Фигурата ни показва нагледно колко фактора е добре да вземем под внимание, т.е. там, където кривата става полегата (Фигура 12**).**

Първият (PC1) обяснява 34.6% от общата вариация, а вторият (PC2) – 15.9% т.е. първите два компонента обясняват общо 50.7% от общата вариация. (Таблица 3).

В първи компонент с по-голяма тежест попадат показателите маса на зърната от растение, обща и продуктивна братимост, дължина на централен клас, брой на класчетата в централен клас, броят на зърната в централен клас, масата на зърната в централен клас, броят на зърната в останалите класове, масата на зърната в останалите класове, броят на зърната в растение, броят на дните от периода трети лист – братене, температурната сума през периода вретенене – изкласяване, и температурна сума през периода цъфтеж – узряване. Във втори значим компонент попадат височината на стъблото, брой дни за поникване, температурната сума за поникване, температурната сума за периода трети лист – братене,



Фигура 12. Скрий плот
Figure 12. Scree plot

брой дни за вретенене – изкласяване и брой дни за цъфтеж-узряване (таблица 4).

Разположението на проучванните морфо-биологични признаци е показано на фигура 13. Участващите в линейния модел признаци са разположени както следва: Положително разположени спрямо двата значими компонента са броя на зърната в централен клас, дължина на централен клас, общата и продуктивна братимост, маса на зърната в централен клас, в останалите класове и маса на зърната в растение. Отрицателно спрямо втори и положително спрямо първи компонент са показателите: брой на зърната в останалите класове, брой на класчетата в клас, броят на дните за периода трети лист – братене и температурната сума в периода цъфтеж – узряване. Положително разположени спрямо втори значим компонент и отрицателно спрямо първи е показателят брой дни в периода вретенене – изкласяване.

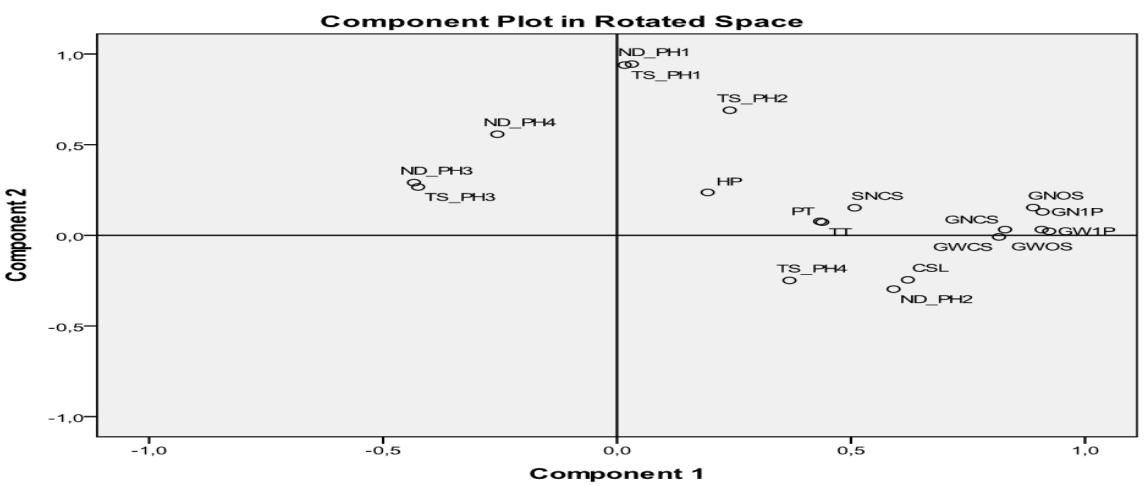
Изборът на родители, които да продуцират потомства с търсените в линейния модел показатели ще се обосновава на разположението им в компонентната равнина (Фигура 14). Като източници на вариране за съответните показатели могат да се считат тези, които са отдалечени от центъра й. Като източници на вариране за броя на зърната в централен клас, дължина на централен клас, общата и продуктивна братимост, маса на зърната в централен клас, в останалите класове и маса на зър-

Таблица 3. Значими компоненти
Table 3. Significant components

Компонент/ Component	**Първоначални собствени стойности/** Initial Eigenvalues			**Извличане на суми на квадратните натоварвания/** Extraction Sums of Squared Loadings			**Ротационни суми на квадратните натоварвания/** Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	6.588	34.672	34.672	6.588	34.672	34.672	6.587	34.667	34.667
2	3.036	15.979	50.651	3.036	15.979	50.651	3.037	15.984	50.651
3	2.358	12.410	63.061						
4	1.845	9.709	72.770						
5	1.231	6.480	79.250						
6	0.887	4.668	83.918						
7	0.751	3.954	87.872						
8	0.638	3.359	91.231						
9	0.552	2.907	94.138						
10	0.258	1.359	95.497						
11	0.256	1.345	96.842						
12	0.234	1.231	98.073						
13	0.191	1.004	99.077						
14	0.124	0.652	99.729						
15	0.026	0.137	99.866						
16	0.023	0.121	99.987						
17	0.002	0.013	100.000						
18	0.000	0.000	100.000						
19	0.000	0.000	100.000						

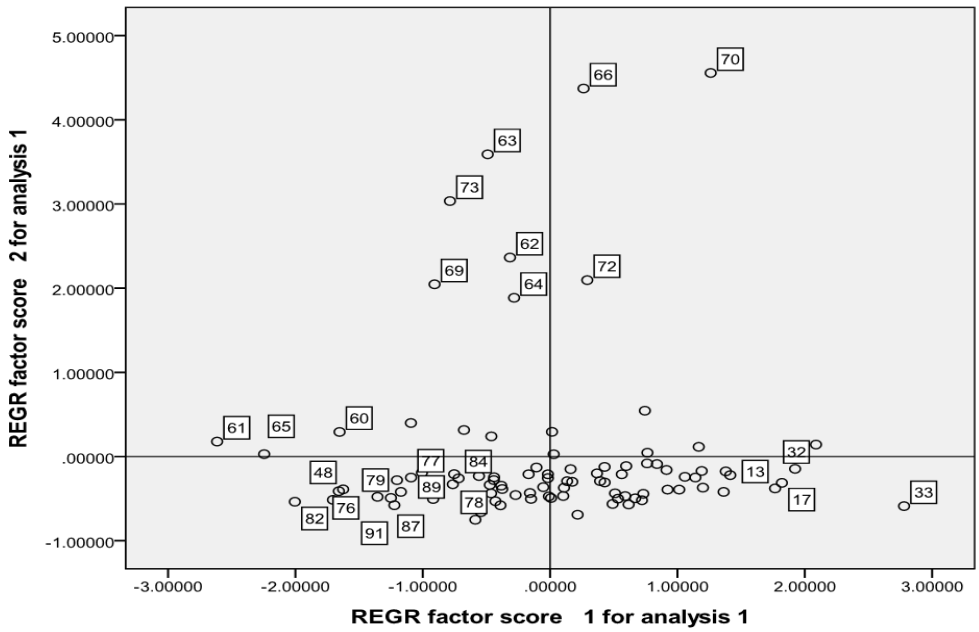
Таблица 4. Проучвани показатели по компоненти
Table 4. Indicators studied by components

Показатели/ Indicators		**Компонент**/Component	
		1	2
Маса на зърната в едно растение, (g)/ Grains weght per plant, (g)		0.923	
Височина на стъблото, (cm)/ Plant height (cm)			0.229
Обща братимост/ Total tillering (pcs.)		0.446	
Продуктивна братимост/ Productive tillering		0.441	
Дължина на централен клас, (cm)/ Main spike length (cm)		0.627	
Брой на класчетата в централен клас/ Spikelets number per central spike (pcs.)		0.507	
Брой на зърната в централен клас/ Grains number per central spike (pcs.)		0.832	
Маса на зърната в централен клас, (g)/ Grains weight per central spike (g)		0.818	
Брой зърна в другите класове/ Grains number per other spikes (pcs.)		0.890	
Маса на зълното в остатъчните класове, (g)/ Grains weight per other spikes (g)		0.906	
Брой на зърната в едно растение/ Grains number per plant (pcs.)		0.911	
Поникване/ Germination	**Бр. Дни**/Number days		0.960
	Σ t (°C)		0.951
Трети лист/братене Third leaf/tillering	**Бр. Дни**/Number days	0.593	
	Σ t (°C)		0.713
Вретенене/изсласяване Stem elongation/ heading	**Бр. Дни**/Number days		0.224
	Σ t (°C)	-0.268	
Цъфтеж/узряване flowering/ maturation	**Бр. Дни**/Number days		0.570
	Σ t (°C)	0.367	



Фигура 13. Разположението на проучванните признаци според отношението им към значимите компоненти

Figure 13. The location of the studied features according to their relation to the significant components



Фигура 14. Разпределението на образците в компонентната равнина
Figure 14. Distribution of samples in the component plane

ната в растение могат да се считат образци с № 32, 66, 70 и 72. Като източници на вариране на броя на зърната в останалите класове, броя на класчетата в клас, броя на дните за периода трети лист – братене и температурната сума в периода цъфтеж – узряване могат да се считат образците с № 13, 17 и 33. Като източници за вариране на брой дни в периода вретенене – изкласяване попадат образци с № 60, 61, 62, 63, 64, 65, 69 и 73. Изборът на родителски двойки съобразен с линейния модел трябва да увеличава стойностите на морфологичните показатели и в случая като родители могат да бъдат използвани образци с № 66, 70 и 72, които да бъдат кръстосани с родители № 13, 17, 33, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 69 и 73.

Дендрограмата на клъстерния анализ ни показва, че образец № 32 се намира в генетическа отдалеченост с № 60, 62, 65, 69 и 73. Образците с № 13, 17 и 33 се намират в генетическа отдаленост с образци под номера 60, 62, 65, 69 и 73. Схемата на хибридизация в непълна диалелна схема е посочена на Таблица 5.

Таблица 5. Схема на хибридизация
Table 5. Hybridisation scheme

♀	♂	♀	♂
32	60	33	60
60	32	60	33
32	62	33	62
62	32	62	33
32	65	33	65
65	32	65	33
32	69	33	69
69	32	69	33
32	73	33	73
73	32	73	33

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установени са източниците на вариране:

- за броя на зърната в централен клас, дължина на централен клас, общата и продуктивна братимост, маса на зърната в централен

клас, в останалите класове и маса на зърната в растение могат да се счита образец с № 32 от българската колекция, № 66, № 70 и № 72 от сръбската колекция.

- за броя на зърната в останалите класове, броя на класчетата в клас, броя на дните за периода трети лист – братене и температурната сума в периода цъфтеж – узряване могат да се считат образците от българската колекция № 13, № 17 и № 33.

- за брой дни в периода вретенене – изкласяване попадат образец от френската колекция № 60 и сръбската колекция с № 61, 62, 63, 64, 65, 69 и 73.

2. Направен е избор на родителски двойки, съобразен с линейния модел.

- Като родители могат да бъдат използвани образци с № 66, 70 и 72, които да бъдат кръстосани с родители № 13, 17 и 33 от българската колекция и № 60 от френската и № 61, 62, 63, 64, 65, 69 и 73 от сръбската колекция.

- Образецът от българската колекция с номер 32 се намира в генетическа отдалеченост с № 60 с френски произход и № 62, 65, 69 и 73 със сръбски произход.

- Образците от българската селекция с № 13, 17 и 33 се намират в генетическа отдалеченост с образци от Франция с № 60 и № 62, 65, 69 и № 73 от Сърбия.

Конфликт на интереси: Авторите декларират, че няма наличие на конфликт на интереси.

ЛИТЕРАТУРА

Afzal, M., Khalid, M., Imtiaz, M., Nasir, B., Shah, S., Nawaz, M., Nayab, S., Malik, S., Majeed, T. & Maqbool, **R.** (2023). Selection Of Drought Tolerant Wheat Genotypes Based On Mean Performance And Biplot Analysis. *Biological And Clinical Sciences Research Journal 2023*, 188-188.

Arzani, A., & Ashraf, M. (2017). Cultivated ancient wheats (Triticum spp.): A potential source of health-beneficial food products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *16*(3), 477–488. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12262

Bhatt, J. M. (1970). Multivariate analysis approach to selection of parents for hybridization aiming at yield components in self-pollination crops. *Aust. J. Agric. Rec.,* 21, 1-7. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1001252

Burton, W. G. & Devane, E. H. (1953). Estimating heritability in tall fescue (Festuca arundinacea) from replicated clonal material. *Agron. J.,* 45, 478-481. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1605297

Carves, B. F., Smith, E. L. & England, H. O. (1987). Regression and cluster analysis of environmental responses of hybrid and pure line winter wheat cultivars. *Crop Sci. 27*, 659-664.

Crespo-Herrera, L. A., Crossa, J., Huerta-Espino, J., Vargas, M., Mondal, S., Velu, G., Payne, T. S., Braun, H.J. & Singh, R.P. (2018). Genetic gains for grain yield in CIMMYT‘s semi-arid Wheat Yield Trials Grown in Suboptimal Environments, DOI: 10.2135/cropsci2018.01.0017

Crespo-Herrera, L.A., Crossa, J., Huerta-Espino, J., Autrique, E., Mondal, S., Velu, G., Vargas, M., Braun, H.J. & Singh, R. P. (2017). Genetic yield gains in CIMMYT‘s international elite spring wheat yield trials by modeling the genotype x environment interaction *Crop Sci*., 57, pp. 789-801.

Dimitrov, E., Uhr, Z. & Velcheva, N. (2021). Genetic distance of common winter wheat varieties. *Genetika* 53(2), 521-532. https://doi.org/10.2298/GENSR2102521D

Eivazi, A. R., Naghati, M. R., Hajheidari, M., Pirseyedi, S. M., Ghaffari, M. R., Mohhamadi, S. A., Majidi, I., Salekdeh, G. H. & Mardi, **M.** (2007). Assesing wheat *(Triticum aestivum L.)* genetic diversity using quality traits, Amplified fragment length polymorphisms, simple sequence repeats and proteome analysis. *Ann. Appl. Biol., 152*, 81-91. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2007.00201.x

Falkoner, D. S. (1989). Introduction to Quantitative Genetics, Ed. 3. Longmans Green/John Wiley & Sons, Harlow, Essex, UK/New York.

FAOSTAT. (2022) Statistics Database (FAO) (available at: www.fao.org/faostat/en/#data/QCL) (Accessed 27 September 2022)

FAOSTAT. (2024). Climate change and food security: risks and responses. Rome, Italy. (accessed 29 January 2024).

Georgiev, S., Stamatov, S. & Deshev, M. (2014). *Agricultural Sciences*, *Volume 16, Issue 6*, 39-45(Bg).

Geren, H., Rodomiro, O., Braun, H. J., Crossa, J., Crouch, H. G., Davenport, J., Dixon, S., Dreisigacker, E., Duveiller, Z. H. J., Huerta, A. K., Joshi, M., Kishii, P., Kosina, Y., Manes, M., Mezzalama, A., Morgounov, J., Murakami, J., Nicol, G. O., Ferrara, J. I. O., Monasterio, T. S., Payne, R. J., Pen˜a, M. P., Reynolds, K. D., Sayre, R. C., Sharma, R. P.,

Singh, J., Wang, M., & Warburton, H. W. M. (2021). Wheat importance, history, and adaptation. Theoretical and Practical New Approach in *Cereal Science and Technology,* (3). Wheat genetic resources enhancement by the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), *GRCE 55: 1095–1140*.

Guarin, J.R., Martre, P., Ewert, F., Webber, H., Dueri, S., Calderini, D.F., Reynolds, M., Molero, G., Miralles, D.J., Garcia, G., Slafer, G.A., Giunta, F., Pequeno, D.N.L., Stella, T., Ahmed, M., Alderman, P.D., Basso, B., Berger, A.G., Bindi, M., Bracho-Mujica, G., Cammarano, D., Chen, Y., Dumont, B., Rezaei, E.E., Ferres, E., Ferrise, R., Gaiser, T., Gao, Y., Garcia-Vila, M., Gayler, S., Hochman, Z., Hoogenboom, G., Hunt, L.A., Kersebaum, K.C., Nendel, C., Olesen, J.E., Palosuo, T., Priesack, E., Pullens, J.W.M., Rodríguez, A., Rötter, R.P., Ruiz-Ramos, M., Semenov, M.A., Senapati, N., Siebert, S., Srivastava, A.K., Stöckle, C.O., Supit, I., Tao, F., Thorburn, P.J., Wang, E., Weber, T.K.D., Xiao, L., Zhang, Z., Zhao, C., Zhao, J., Zhao, Z., Zhu, Y & Asseng, S. (2022). *Environmental Research Letters, Volume 17, Number 12*, 4045, DOI 10.1088/1748-9326/aca77c

IPCC. (2021). Climate change 2021—the physical science basis. In: Masson-Delmotte V et al (eds) Working group I contribution to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.

Islam, M. R. (2004). Genetic diversity in irrigated rice. *Pak. J. Biol. Sci., 2*, 226-229.

Khodadadi, M., Fotokian, M. H. & Miransari, M. (2011). Genetic diversity of wheat (*Triticum aestivum L.)* genotypes based on cluster and principal component analyses for breeding strategies. *Australian Journal of Crop Science 5*(1), 17-24.

Kuckuck, H., Kobabe, G. & Wenzel, G. (1991). Fundamentals of plant breeding. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Kurek, A. J., Carvalho, F. I. F., Assmann, I. C., & Cruz, P. J. (2001). Capacidade combinatória como critério de eficiência na seleção de genitores em feijoeiro. Pesquisa *Agropecuária Brasileira*, 36:645-651.

Mohammadi, S. A. & Prassana, B. M. (2003). Analysis of genetic diversity in crop plants: salient statical tools and considerations. *Crop Sci. 43*, 1235-1248. https://doi.org/10.2135/cropsci2003.1235

Montieth, J. L. (1984). Consistency and convenience in the choice of units for agricultural science. *Exp. Agric.* 20, 117-125.

Nyaupane, S., Poudel, MR., Panthi, B., Dhakal, A., Paudel, H., & Bhandari, R. (2024). Ефект на стреса от суша, толерантност и управление при пшеницата – преглед. *Cogent Food & Agriculture* , *10* (1). https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2296094

Paudel, B., Zhang, Y., Yan, J., Rai, R., Li, L., Wu, X., Chapagain, P. S., & Khanal, N. R. (2020). Farmers' understanding of climate change in Nepal Himalayas: important determinants and implications for developing adaptation strategies. *Climate Change*, *158*(3–4), 485–502. https://doi.org/10.1007/s10584-019-02607-2

Popova, T. (2024). Inheritance of economic traits and heterosis in winter barley hybrid combinations. *Bulgarian Journal of Crop Science, 61*(3) 23-30 (Bg).

Ray, D. K., Mueller, N. D., West, P. C. & Foley, J. A. (2013). Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050 PLoS One 8 8.

Ray, D. K., Ramankutty, N., Mueller, N.D., West, P. C. & Foley, J. A. (2012). Recent patterns of crop yield growth and stagnation Nat. Commun. 3 7.

Rodomiro, O., Braun, H. J., Crossa, J., Crouch, J., H., Davenport, G., Dixon, J., Dreisigacker, S., Duveiller, E., Huerta, Z. H. J., Joshi , A. K., Kishii, M., Kosina, P., Manes, Y., Mezzalama, M., Morgounov, A., Murakami, J., Nicol, J., Ferrara, G. O., Monasterio, J. I. O., Payne, T. S., Pen˜a, R. J., Reynolds, M. P., Sayre, K. D., R. Sharma, C., Singh, R. P., Wang, J., Warburton, H. W. M., & Iwanaga , M. (2008). Wheat genetic resources enhancement by the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT*), GRCE* 55, 1095–1140.

Salazar, M., Gutierrez, R., Johnson, J., Chaves-Cordoba, B., & Hoogenboom, G. (2013). Relationship of Base Temperature to Development of Winter Wheat in the Southeastern US. *International Journal of Plant Production 7(4),* 741-762. https://ijpp.gau.ac.ir/article_1267.html

Shaukat, F. & Anwar, A.S. (2023). Assessment of morphological and yield-related traits in *Triticum aestivum L*. Trends in Animal and *Plant Sciences 1*: 22-29. https://doi.org/10.62324/TAPS/2023.004

Slafer, G. A., & Savin, R. (1991). Developmental base temperature in different phenological phases of wheat *(Triticum aestivum). J. Exp. Bot. 42*, 1077-1082.

Stamatov, St., & Deshev, M. (2015) Анализ на хетерозиса и комбинативната способност по някои морфологични признаци при фъстъците (*Arachis hypogeae L.*) *Растениевъдни науки*, год. LII, No. 2

USDA, Foreign Agricultural Service. (n.d.). Production Wheat. U.S. Department of Agriculture. https://fas.usda.gov/data/production/commodity/0410000

Warrington, I. J. & Kanemasu, E. T. (1983)a. Corn growth response to temperature and photoperiod I. Seedling emergence, tassel initiation and anthesis. *Agron. J. 75*, 749-754.

Warrington, I. J. & Kanemasu, E. T. (1983)b. Corn growth response to temperature and photoperiod II. Leaf-initiation and leaf appearance rates. *Agron. J. 75*, 755-761.

Received: October, 18, 2025; *Approved:* November, 22, 2025; *Published:* December, 2025