https://doi.org/10.61308/UDMV6358

Изследване на млевния потенциал на генотипове твърда пшеница

Красимира Танева*, Рангел Драгов, Бояна Тодорова
Институт по полски култури – Чирпан, Селскостопанска академия – София, България
* E-mail: *krasimira.taneva@abv.bg*

Красимира Танева https://orcid.org/0000-0001-6554-7435
Рангел Драгов https://orcid.org/0000-0001-5764-7997

Резюме: Изследването е насочено към установяване на варирането на физичните качества на зърното и връзката им с млевния потенциал в извадка от 26 генотипове твърда пшеница. Всички генотипове са отглеждани в конкурсен сортов опит в три повторения, през три реколтни години - 2022/2024, в опитното поле на ИПК – Чирпан. За анализиране на физичните и млевните качества на зърното са използвани стандартни методи. Данните са обработени статистически чрез вариационен анализ, анализ на варианса, корелационен и PC анализи. На базата на анализа на варианса е установено достоверно влияние на генотипа, годините на отглеждане и взаимодействието между тях върху варирането на изучаваните признаци. Варирането на хектолитровата маса се определя в най-голяма степен от генотипа (49,4%), а на стъкловидността - от условията на средата (59,4%). Установено е значително влияние на взаимодействието на генотипа с годините върху варирането на признаците маса на 1000 зърна (36,95%) и добив грис (42,23%). С най-висока хектолитрова маса средно за трите години се характеризира линия Д-8298 (80,4 kg/hl), а с най-едро зърно линия Д-8516 (50,1 g). Най-голямо вариране в извадката от анализираните генотипове, определено на базата на вариационните коефициенти е установено за признаците маса на 1000 зърна (3,55%) и стъкловидност (2,52%). Намерена е статистически доказана положителна корелативна връзка на добив грис средно за трите години със стъкловидността и на добив грис за третата година с масата на 1000 зърна. Според направения PC анализ признака добив грис е в силна положителна корелация с признака стъкловидност и в отрицателна с маса на 1000 зърна.

Ключови думи: твърда пшеница; добив грис; анализ на варианса; вариационен анализ; корелационен анализ; PC анализ

Investigation of milling performance in durum wheat genotypes

Krasimira Taneva*, Rangel Dragov, Boyana Todorova
Field Crops Institute – Chirpan, Agricultural Academy - Sofia, Bulgaria
E-mail: *krasimira.taneva@abv.bg*

Krasimira Taneva ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-6554-7435
Rangel Dragov ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5764-7997

Citation: Taneva, K., Dragov, R., & Todorova, B. (2026). Investigation of milling performance in durum wheat genotypes. *Bulgarian Journal of Crop Science, 63*(3) 11-22 (Bg).

Abstract: The aim of the study was to establish the variation in physical qualities of the grain and their relationship with milling potential of 26 durum wheat genotypes. These durum wheat genotypes were grown in a competitive variety trial in three replicates in the experimental field of the Field Crops Institute - Chirpan over three harvest years - 2022/2024. Standard methods were used for analyzing physical and milling properties. The data were statistically processed via analysis of variation, analysis of variance, correlation and PC analyses. According to the analysis of variance was determined that there is a reliable influence of genotype, years of cultivation and the interaction between them on the variation of the studied traits. The variation in test weight

was determined to a large extent by the genotype (49.4%) and the vitreousness by the environmental conditions (59.4%). It was found a significant influence of the interaction between genotype and years on the variation of the traits thousand kernel weight (36.95%) and yield of semolina (42.23%). The line D-8298 was characterized with the highest test weight (80.4 kg/hl) and with the largest grain was line D-8516 (50.1 g) average for the three years of studying. The greatest variation in the sample of analyzed genotypes, determined based on the variation coefficients, was found for the traits thousand kernel weight (3.55%) and vitreousness (2.52%). It was found a statistical significant positive correlation for semolina yield with vitreousness average of the investigated three years and of semolina yield with thousand kernel weight for the third year. According to the PC analysis, the semolina yield trait is in a strong positive correlation with the vitreousness trait and in a negative correlation with thousand kernel weight.

Key words: durum wheat; semolina yield; analysis of variance; analysis of variation; correlation analyses; PC analyses

ВЪВЕДЕНИЕ

Добивът на зърно и качеството на гриса са основни критерии за отбор при селекцията на твърда пшеница. Грисът от твърда пшеница се счита за идеалната суровина за производство на макаронени изделия. Пригодността на гриса за производство на паста се дължи на способността на грисовото тесто да издържа на многобройните физически натоварвания, възникващи по време на обработката (Cecchini et al., 2021). Основните компоненти на процеса на смилане на зърно от твърда пшеница са грис, брашно, трици и зародиш. Мелничарската индустрия предпочита висока степен на екстракция на грис, определена като процент от зърното (Fiedler et al., 2017). Прогнозирането на добива на грис е сериозно предизвикателство, поради сложния характер на факторите, свързани с поведението на пшеницата при смилане (Sissons et al., 2012). Тези фактори включват, дела на ендосперма (съотношение трици към ендосперм), адхезията/разделимостта между ендосперма и неендоспермните компоненти на зърното и текстурата на ендосперма (Wang et al., 2023). Това затруднява изясняването на основните наследствени фактори, отговорни за сортовите разлики в добива грис (Sissons et al., 2020). Физичните свойства на зърното от твърда пшеница са важни за определяне на нейната търговска стойност. Мелниците за грис изискват съдържание на протеин > 12.5%, хектолитрова маса > 80 kg/hl и процент на стъкловидност > 75% (Sieber et al., 2015; Djouadi et al., 2021). Редица автори съобщават за връзка между физичните свойства на зърното, добива грис и качеството на макаронените (Fu et al., 2017; Wang & Fu, 2020). Тези характеристики, обаче се определят главно от околната среда (Garcia-Calabres et al., 2025). Проведени са много проучвания целящи да установят взаимовръзка между хектолитровата маса и потенциала за добив на грис, но данните са силно противоречиви (Wang & Fu, 2020). Въпреки това високата хектолитрова маса е основен класификационен индикатор в търговските спецификации. Теглото на зърното е мярка за плътността на зърното и корелира положително с добива на грис. В сравнение със степента на екстракция на грис, хектолитровата маса е по-лесна за измерване (Fiedler et al., 2017). Wang & Fu (2020) установяват връзка между хектолитровата маса и генотиповете твърда пшеница. При подобна хектолитрова маса един от изследваните сортове се характеризира с постоянно по-нисък добив грис в сравнение с други анализирани сортове, поради по-високия си дял на по-малки зърна. Според същите автори, обаче проучванията свързани с млевното качество през последните десетилетия са твърде малко за да се разберат добре факторите, свързани със сортовите разлики в добива грис (Wang and al., 2021). Твърдата пшени-

ца с висок дял на твърди стъкловидни зърна и висока хектолитрова маса, обикновено дава висок добив на грис с минимален брой нишестени бели частици (Fu et al., 2017). Sieber et al. (2015) установяват също, че оптимизирането на добива на грис, характеризиращ се с равномерен размер на частиците и намаляване на външните примеси в брашното може да се постигне чрез включването на значителен дял от стъкловидни зърна. Стъкловидността на даден сорт твърда пшеница зависи от неговия генетичен потенциал за образуване на стъкловидни зърна, но се влияе силно и от факторите на средата, като влажността (Sieber et al., 2015). Този признак на зърното и съдържанието на протеин са силно свързани. Намаляването на количеството протеин може да повлияе отрицателно на стъкловидността му (Woźniak et al., 2014). Високият процент стъкловидност е важен признак, тъй като гарантира максимален добив на грис и минимална фракция брашно по време на смилането (Sieber et al., 2015). Някои автори съобщават, че масата на 1000 зърна е по-надежден индикатор за млевен потенциал в сравнение с хектолитровата маса (Wang et al., 2021). Те докладват, че с намаляването на размера на зърната от големи до средни, добивите грис и общите добиви от смилането постепенно намаляват, а за най-дребните зърна установяват най-нисък добив грис.

Целта на настоящото проучване е свързана с установяване на варирането на физичните качества на зърното (маса на 1000 зърна, хектолитрова маса и стъкловидност) и връзката им с млевния потенциал (добив на грис) в извадка от 26 генотипове твърда пшеница.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

В изследването са включени 26 генотипове твърда пшеница, отгледани в конкурсен сортов опит в три повторения през три реколтни години - 2022/2024 в опитното поле на ИПК – Чирпан. Всички генотипове са отгледани по рандомизирана блокова схема с големина на реколтната парцелка 15 m^2 при стандартна агротехника. Стъкловидността е определена по БДС EN 15585:2008. Масата на 1000 зърна е определена по БДС EN ISO 520:2010. Хектолитровата маса е определена по БДС EN ISO 7971-1:2009. Смилането на гриса е извършено с лабораторна валцова мелница QC-109 Labor Mim, адаптирана за грисово смилане и окомплектована с набор от сита за пресяване на гриса. Изчислен е добив грис, % на база зърно с 14% влага и коригиран за влага на гриса също 14%. За сравнение на получените данни са използвани стандартните сортове Мирела и Предел. Получените резултати са обработени статистически чрез анализ на варианса (ANOVA), вариационен, корелационен и принципен компонентен анализ. Всички статистически анализи са извършени с помощта на програмата Statistica 13.0 (TIBCO, Software, 2018).

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

На базата на проведения анализ на варианса върху варирането на изучаваните признаци е установено достоверно влияние на генотипа, годините на отглеждане и взаимодействието между тях (Таблица 1). Варирането на хектолитровата маса се определя в най-голяма степен от генотипа (49,4%), а на стъкловидността от условията на средата (59,4%). В съгласие с установеното в това изследване са и проучванията на Yagdi and Sozen (2009). Те също установяват, че хектолитровата маса се влияе основно от генотипа. Намерено е значително влияние на средата върху варирането на този признак (38,59%). Sieber et al. (2015) докладват, че варирането на показателя хектолитрова маса се дължи най-вече на факторите на средата. Според други автори значение имат и генотипа и условията на средата (Guzman et al., 2016). Редица автори установяват, че стъкловидността силно се влияе от условията на средата (Robinson et al., 1979; Martinez-Pena et al., 2023). Основни фактори при формирането на стъкловидността са количествата на азот

и влагата. Повишаването на влажността води до намаляване на процента на стъкловидните зърна и почерняването им. Най-голямо е влиянието на взаимодействието на генотипа с годините върху варирането на признаците маса на 1000 зърна (36,95%) и добив грис (42,23%). Установено е, обаче значително влияние на средата върху варирането на масата на 1000 зърна (33,76%) и на генотипа за добив грис (38,67%). Според Kaya & Akcura (2014) и Martinez-Pena et al. (2023) средата е основният фактор, контролиращ варирането на признаците маса на 1000 зърна и хектолитрово тегло.

Следователно, ефектите на средата и на взаимодействието генотип × среда не могат да бъдат пренебрегнати при селекцията по тези признаци.

В Таблица 2 и Таблица 3 са показани резултатите от трите години на изследване и средните стойности за тези години на признаците: хектолитрова маса, маса на 1000 зърна, стъкловидност и добив грис.

Физичните показатели на зърното варират силно в отговор на условията на отглеждане през различните реколтни години (Garcia-Calabres et al., 2025). Първата година на изследването се характеризира с по-ниска хектолитрова маса (73,3 – 79,5 kg/hl) и маса на 1000 зърна (41,5 – 49,3 g), но това не повлиява съществено добива на грис. Всички анализирани генотипове и през трите реколтни години се характеризират със средно едро до едро зърно (над 34 g). За периода на проучването масата на 1000 зърна варира в диапазона от 43,9 – 50,1 g. Най-едро зърно е определено за линия Д - 8516. Средно за трите години на изследването добив грис варира от 57,7 – 60,8% спрямо 59,2% и 58,8% за стандартните сортове Мирела и Предел. Въпреки ниската си хектолитрова маса през първите две реколтни години (73,3 и 73 kg/hl) и средно за трите години (74,4 kg/hl) и по-дребното си зърно, сорт Мирела дава добър грисов добив. Според проучванията на някои автори не винаги твърди пшеници със здраво, но по-дребно зърно имат системно по-лошо млевно качество (Chaurand et al., 1999). С по-висок добив грис за периода спрямо стандарта Мирела се характеризират 13 генотипове. Най-висок грисов добив за трите години е установен за линия Д-8156 (60,8%). С високо хектолитрово тегло, едро зърно, висока стъкловидност и добър добив грис се откроява и линия Д-8298. Най-ниски добиви грис и най-ниска стъкловидност са отчетени през втората реколтна година. Добивите грис варират в границите

Таблица 1. Анализ на варианса на някои изучавани признаци на генотипове твърда пшеница
Table 1. Analyses of variance on some studied traits in durum wheat genotypes

Признаци/ Traits	Източник на вариране, % от общото вариране/ Source of variation, % from the total variation								
	Генотип/ Genotype			Година/ Year			Взаимодействие/ Interaction		
	SS	MS	η2 %	SS	MS	η2 %	SS	MS	η2 %
Хектолитрова маса/ Test weight	193,7	7,7***	49,4	151,3	75,7***	38,59	41	0,8***	10,46
Маса на 1000 зърна/ Thousand kernel weight	416	16,6***	29,12	482,3	241,2***	33,76	528	10,6***	36,95
Стъкловидност/ Vitreousness	694	28***	10,39	3965	1982***	59,4	2002	40***	29,99
Добив грис/ Semolina yield	122,9	4,9***	38,67	60,2	30,1***	18,94	134,2	2,7***	42,23

**** Significant at p< 0,001; ** Significant at p<0,01; * Significant at p<0,05*

от 55,4 – 61,2%, а стъкловидността от 62,8 – 90%. Ниски добиви грис и ниска стъкловидност са определени за линиите: Д-8495 (55,4% добив грис и 62,8% стъкловидност); Д - 8031 (56,1% и 68,8%) и Д-8527 (56,8% и 68,8%). Зърното от тези генотипове дава по-голяма фракция брашно и съответно по-малък грисов добив. Известно е, че делът на зърната със стъкловиден ендосперм има значително влияние върху добива на грис (Turki et al., 2025). Sieber et al. (2015) установяват, че оптимизирането на добива на грис, характеризиращ се с равномерен размер на частиците и намаляване на външните примеси от брашно, може да се постигне чрез включването на значителен дял стъкловидни зърна.

Според коефициентите на вариране най-голямо е варирането през втората година на изследване за всички изследвани признаци, като тази година се отличава с по-ниски стойности по показателите стъкловидност и добив грис, в сравнение с реколти 2022 и 2024 г. Най-голямо вариране в общото вариране на признаците в извадката от изучаваните генотипове, определено на базата на вариационните коефициенти е установено за признаците маса на 1000 зърна (CV – 3,55%) и стъкловидност (CV – 2,52%). Всички признаци на изучаваната извадка от генотипове се повлияват от условията на средата, особено през отделните години на изследване, но в общото вариране за трите реколтни години запазват сравнително стабилни високи стойности.

Извършен е корелационен анализ за откриване на взаимовръзки между признака добив грис и косвените показатели, характеризиращи млевния потенциал на зърното: хектолитрова маса, маса на 1000 зърна и стъкловидност. Резултатите от него са отразени в Таблица 4. Съществува статистически доказана положителна корелативна връзка на добив грис реколта 2024 година с маса на 1000 зърна (r = 0,47). Налице е статистически доказана положителна взаимовръзка на средния добив грис от трите реколтни години и стъкловидността (r = 0,44). Стъкловидността на зърното е основен фактор за млевното му качество. Стъкловидните зърна показват кохерентна и непрекъсната структура с нишестените гранули, плътно вградени в протеиновата матрица. Образуването на компактни стъкловидни зърна е силно зависимо от съдържанието на протеин. Тези зърна се характеризират с по-високо ниво на пшеничен протеин в сравнение с техните нестъкловидни или брашнести аналози, което предполага значението на съдържанието на протеин за развитието на стъкловидните зърна (Dexter et al., 1989; Sieber et al., 2015;

Таблица 2. Средни стойности на признаците хектолитрова маса и маса на 1000 зърна при генотипове твърда пшеница

Table 2. Mean values of traits test weight and thousand kernel weight in durum wheat genotypes

Генотип / Genotype	Хектолитрова маса, kg/hl / Test weight (TW), kg/hl				Маса на 1000 зърна, g / Thousand kernel weight (TKW), g			
	2022 Година/ Year	2023 Година/ Year	2024 Година/ Year	Средно/ Avarage	2022 Година/ Year	2023 Година/ Year	2024 Година/ Year	Средно/ Avarage
Д-8156 D-8156	77,4	79,3	81,0	79,2	45,3	51,9	48,9	48,7
Д-8405 D-8405	78,5	79,7	81,0	79,7	42,6	50,6	45,5	46,2
Д-8401 D-8401	78,2	79,0	80,2	79,1	44,1	52,1	41,7	46,0
Д-8298 D-8298	79,4	80,3	81,6	80,4	45,6	52,5	50,1	49,4

Д-8379 D-8379	77,5	78,6	79,9	78,7	42,3	53,1	48,1	47,8
Д-8000 D-8000	77,8	78,9	81,7	79,5	41,5	49,5	47,1	46,0
Д-8313 D-8313	78,2	78,9	79,9	79,0	48,2	48,3	45,7	47,4
Д-8417 D-8417	78,6	79,1	80,1	79,2	41,5	46,6	45,7	44,6
Д-8404 D-8404	78,5	79,5	80,6	79,5	41,5	48,9	46,3	45,6
Д-8031 D-8031	77,5	76,4	79,8	77,9	49,3	49,1	50,4	49,6
Д-8484 D-8484	78,9	79,1	80,6	79,5	45,1	47,1	46,3	46,2
Д-8456 D-8456	79,5	79,9	81,5	80,3	43,3	45,1	49,6	46,0
Мирела Mirela	73,3	73,0	77,0	74,4	44,3	44,5	44,1	44,3
Предел Predel	78,0	77,6	79,7	78,4	45,7	48,1	52,1	48,6
Д-8471 D-8471	77,5	78,7	80,1	78,7	42,1	51,7	47,3	47,0
Д-8472 D-8472	78,2	78,5	79,9	78,9	46,1	46,6	47,1	46,6
Д-8516 D-8516	77,4	78,1	79,3	78,3	49,2	51,3	49,9	50,1
Д-8346 D-8346	78,9	77,3	80,6	78,9	42,6	48,1	49,5	46,7
Д-8469 D-8469	78,5	78,8	80,7	79,3	42,6	49,1	48,1	46,6
Д-8495 D-8495	79,3	78,9	82,4	80,2	48,5	47,5	50,0	48,7
Д-8483 D-8483	77,2	78,9	79,4	78,5	44,6	45,5	47,7	45,9
Д-8299 D-8299	78,3	77,9	81,1	79,1	44,1	44,2	48,9	45,7
Д-8551 D-8551	78,6	79,7	80,7	79,6	44,3	48,1	49,0	47,1
Д-8271 D-8271	77,8	78,0	80,0	78,6	42,7	51,6	45,9	46,7
Д-8527 D-8527	77,7	78,0	80,4	78,7	42,1	44,3	45,2	43,9
Д-8526 D-8526	78,4	76,4	78,1	77,6	43,6	44,4	45,1	44,4
Mean x	78,0	78,4	80,3	78,9	44,3	48,5	47,5	46,8
Min/Max	73,3-79,5	73-80,3	77-82,4	74,4-80,4	41,5-49,3	44,2-53,1	41,7-52,1	43,9-50,1
Variance	1,34	2,15	1,21	1,29	5,62	7,83	5,45	2,75
Std. dev.	1,158	1,465	1,097	1,139	2,370	2,798	2,334	1,659
CV%	1,48	1,87	1,37	1,44	5,35	5,78	4,91	3,55

Baasandorj et al., 2016; Fu et al., 2018). Въз основа на установената корелативна връзка между добив грис и стъкловидност може да се направи изводът, че селекционното подобряване на признака стъкловидност при нашите условия на средата ще влияе косвено и върху подобряването на млевния потенциал на генотиповете твърда пшеница. Според Turki et al. (2025), съществува благоприятна корелация между теглото на стъкловидните зърна и тяхното съдържание на протеин, което показва, че сортовете с по-високо тегло на зърната обикновено показват относително по-високи нива на протеин. Налични са и съобщения за положителната връзка между количеството протеин и стъкловидността (Bilgin et al., 2010). Селекцията за по-високо съдържание на протеин може косвено да доведе до по-висока стъкловидност и съответно по-добър млевен потенциал. Останалите корелативни връзки, отразени в Таблица 4 са слаби и не се доказват статистически.

Въз основа на изследваните признаци, свързани с млевното качество на зърното е извършен факторен анализ по метода на главните компоненти в извадката от 26 генотипо-

Таблица 3. Средни стойности на признаците стъкловидност и добив грис при генотипове твърда пшеница

Table 3. Mean values of traits vitreousness and semolina of yield in durum wheat genotypes

Генотип/ Genotype	Стъкловидност, % Vitreousness (V), %				Добив грис, % Semolina of yield (YS), %			
	2022 Година/ Year	2023 Година/ Year	2024 Година/ Year	Средно/ Avarage	2022 Година/ Year	2023 Година/ Year	2024 Година/ Year	Средно/ Avarage
Д-8156 D-8156	91,2	71,2	91,6	84,5	62,1	61,0	59,3	60,8
Д-8405 D-8405	85,6	90,0	91,2	88,9	61,8	58,9	58,1	59,9
Д-8401 D-8401	92,0	81,6	89,2	87,6	61,1	57,4	58,2	58,9
Д-8298 D-8298	85,6	80,8	91,2	85,9	60,4	60,5	60,0	60,3
Д-8379 D-8379	94,8	76,4	88,4	86,5	61,2	59,5	58,9	59,9
Д-8000 D-8000	86,8	81,6	89,2	85,9	61,6	60,5	60,1	60,7
Д-8313 D-8313	86,5	76,8	88,8	84,0	60,4	59,6	59,3	59,8
Д-8417 D-8417	88,4	84,1	86,7	86,4	59,3	58,8	59,9	59,4
Д-8404 D-8404	84,4	76,0	86,0	82,1	60,8	61,2	58,7	60,2
Д-8031 D-8031	87,6	68,8	91,2	82,5	58,5	56,1	58,6	57,7
Д-8484 D-8484	85,8	74,9	88,2	83,0	58,9	58,0	56,7	57,9
Д-8456 D-8456	90,0	78,0	87,5	85,2	60,7	61,2	60,0	60,6
Мирела Mirela	82,9	78,8	91,2	84,3	59,1	58,9	59,8	59,2

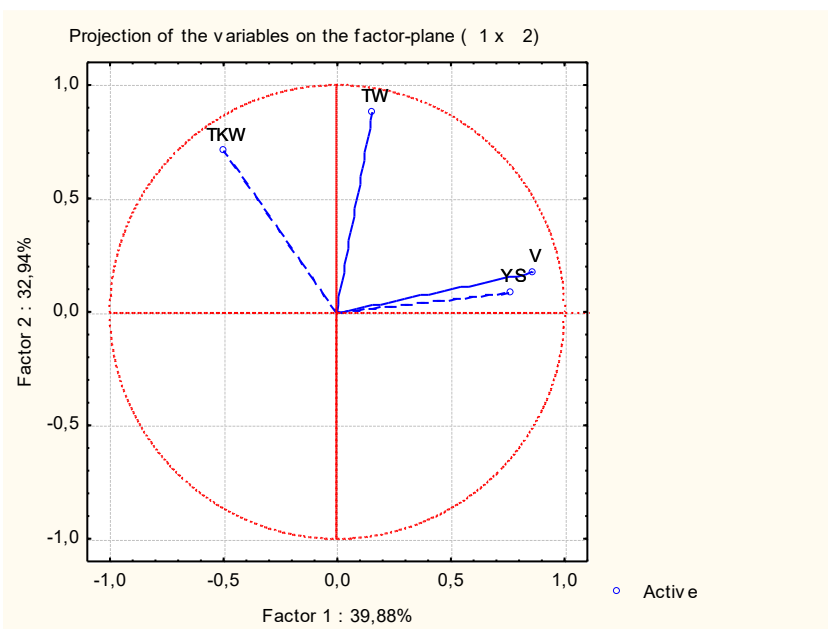
Предел Predel	90,4	74,4	90,4	85,1	56,5	58,5	61,4	58,8
Д-8471 D-8471	93,0	88,5	87,2	89,6	60,6	60,2	59,7	60,2
Д-8472 D-8472	90,0	77,6	89,8	85,8	60,9	58,4	60,1	59,8
Д-8516 D-8516	88,4	76,8	90,8	85,3	60,6	58,3	60,8	59,9
Д-8346 D-8346	95,6	84,8	89,2	89,9	62,0	59,3	60,3	60,5
Д-8469 D-8469	90,0	83,3	86,4	86,6	59,9	58,3	60,6	59,6
Д-8495 D-8495	93,6	62,8	90,8	82,4	60,3	55,4	59,7	58,5
Д-8483 D-8483	86,7	82,4	85,4	84,8	59,9	59,3	60,2	59,8
Д-8299 D-8299	85,6	84,0	88,8	86,1	58,3	56,2	58,6	57,7
Д-8551 D-8551	91,6	83,9	88,4	88,0	60,4	57,2	58,6	58,7
Д-8271 D-8271	91,2	78.4	89,2	86,3	59,7	57,7	58,7	58,7
Д-8527 D-8527	89,2	68,8	92,0	83,3	60,0	56,8	59,7	58,8
Д-8526 D-8526	94,4	78,6	92,0	88,3	61,2	59,3	58,6	59,7
Mean x	89,3	78,6	89,3	85,7	60,2	58,7	59,4	59,5
Min/Max	82,9-95,6	62,8-90	85,4-92	82,1-89,9	56,5-62,1	55,4-61,2	56,7-61,4	57,7-60,8
Variance	11,77	38,42	3,70	4,65	1,64	2,49	1,01	0,82
Std. dev.	3,430	6,198	1,923	2,157	1,278	1,579	1,006	0,905
CV%	3,84	7,89	2,16	2,52	2,12	2,69	1,69	1,52

Таблица 4. Корелационни зависимости между физичните признаци и млевния потенциал
Table 4. Correlations between physical traits and milling potential

Признаци/ Traits	Хектолитрова маса/ Test weight (TW)	Маса на 1000 зърна/ Thousand kernel weight (TKW)	Стъкловидност/ Vitreousness (V)
Добив грис – 2022 година/ Semolina of yield (YS)-2022 year	0,18	-0,26	0,32
Добив грис – 2023 година/ Semolina of yield (YS)-2023 year	0,26	0,24	0,32
Добив грис – 2024 година/ Semolina of yield (YS)-2024 year	-0,06	**0,47**	-0,03
Добив грис – 2022 – 2024 година/ Semolina of yield (YS)-2022-2024 year	0,06	-0,14	**0,44**

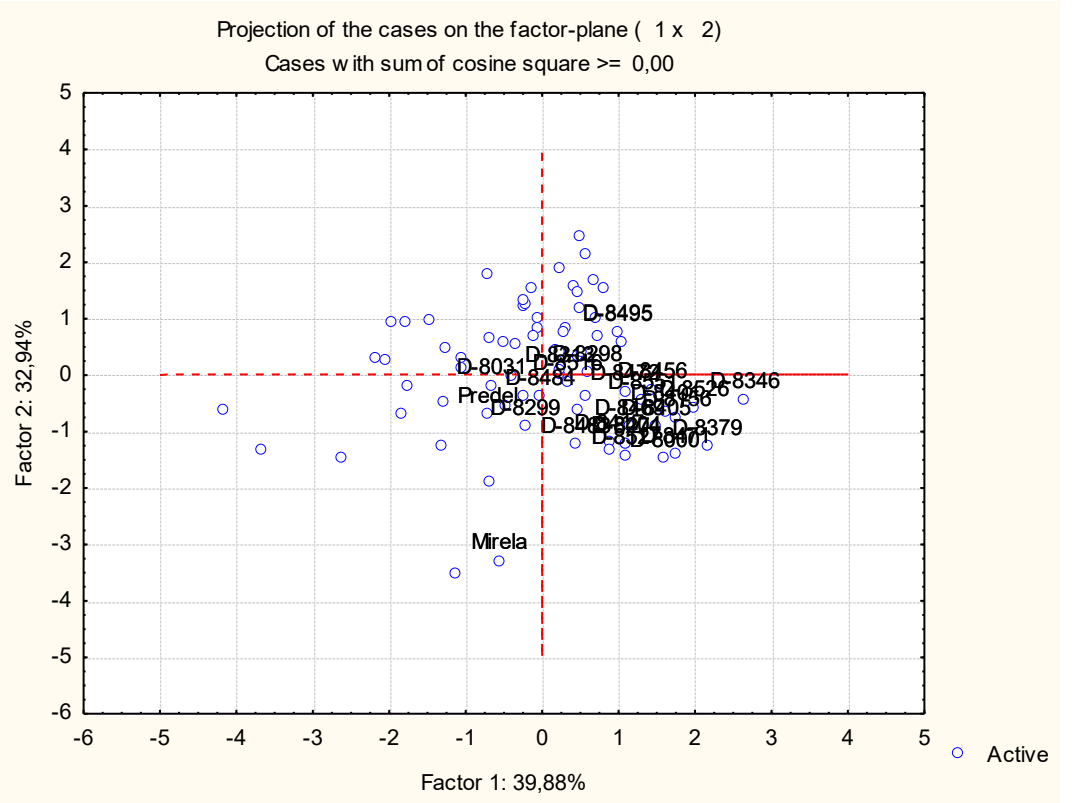
P<0,05

ве твърда пшеница. Над 72% от общото вариране на фенотипната изява на генотиповете по изучаваните признаци се дължи на първите два главни компонента – PC1 и PC2 (Фигура 1). Приложеният PC анализ дава информация за наличието на корелативни връзки между признаците, свързани с млевно качество на зърното в извадката от изучаваните генотипове. В зависимост от величината на ъгъла, който се образува между векторите на всеки два признака, могат да се определят корелационните зависимости между тях. Ъглите между векторите на признаците добив грис, стъкловидност и хектолитрова маса са остри, което показва положителна корелация между тях. Хектолитровата маса и масата на 1000 зърна също образуват остър ъгъл и следователно тези два признака са в положителна корелативна взаимовръзка. Подобна взаимовръзка докладват и други автори (Djouadi et al., 2021). Според Dexter & Symons (2007) съществува връзка между хектолитровата маса, масата на 1000 зърна и добива грис, но тя е силно повлияна от годината на отглеждане и отслабва когато се обединят данните от всички години. Взаимовръзките между хектолитровата маса и масата на 1000 зърна и техните връзки с добива на грис не са убедителни. Съобщени са противоречиви резултати при прогнозиране на качеството на смилане на твърда и обикновена пшеница с различни физически параметри на зърното (Wang & Fu, 2020). Признаците стъкловидност и добив грис образуват тъпи ъгли с масата на 1000 зърна, което показва отрицателни корелативни връзки между тях. На Фигура 2 е представено разположението на генотиповете според техните стойности на главните компоненти PC1 и PC2. При съпоставянето на двете фигури може да бъде преценено свързването на генотиповете в групи по определени признаци. Колкото точките от Фигура 2 са разположени по-близо до векторите на точките от Фигура 1, толкова този признак е определящ в групирането им. В групата с най-високи стойности по признаците добив грис, стъкловидност и хектолитрова маса попадат три от изследваните генотипове – линиите Д-8313, Д-8298 и Д-8495. В групата



Фигура 1. PC анализ на признаци свързани с млевното качество на зърното. YS – добив грис; V – стъкловидност; TW – хектолитрова маса; TKW – маса на 1000 зърна

Figure 1. PC analyses of traits, correlated with milling quality of grain, YS – semolina yield; V – vitreousness; TW – test weight; TKW – thousand kernel weight



Фигура 2. PC анализ на сортове и линии твърда пшеница
Figure 2. PC analyses of durum wheat varieties and lines

доминирана от признака маса на 1000 зърна не попада нито един от генотиповете. Останалите анализирани генотипове включително двата стандартни сорта се разпределят в двете групи, които не са доминирани от нито един от изследваните признаци.

ИЗВОДИ

Генотипът, годините на отглеждането и взаимодействието генип-среда са оказали съществено влияние върху фенотипното проявление на всички изследвани признаци. Признаците маса на 1000 зърна и добив грис се влияят най-силно от взаимодействието генотип × среда (36,95% и 42,43%), хектолитровата маса от генотипа (49,4%), а стъкловидността от условията на средата (59,4%).

По-голяма част от анализираните генотипове се характеризират с добър млевен потенциал – висока хектолитрова маса, едро зърно, добра стъкловидност и добро ниво на добив грис средно за тригодишния период на изследването. С най-добър комплекс от признаци се откроява линия Д-8298.

Най-голямо вариране в извадката от изучаваните генотипове, определено на базата на вариационните коефициенти е установено за признаците маса на 1000 зърна (CV – 3,55%) и стъкловидност (CV – 2,52%).

Въз основа на проведен корелационен анализ са установени статистически доказани положителни корелативни връзки на добив грис, средно за периода на изследването със стъкловидността (r = 0,44), както и на добива грис от реколта 2024 с масата на 1000 зърна (r = 0,47).

На база на PC анализ са установени положителни и отрицателни корелационни зависимости между изследваните признаци.

ЛИТЕРАТУРА

Baasandorj, T., Ohm, J. B., & Simsek, S. (2016). Effects of kernel vitreousness and protein level on protein molecular weight distribution, milling quality, and breadmaking quality in hard red spring wheat. *Cereal Chemistry*, *93*(4), 426-434.

Bilgin, O., Korkut, K., Başer, İ., Dağlioğlu, O., Öztürk, I., Kahraman, T. & Balkan, A. (2010). Variation and heritability for some semolina characteristics and grain yield and their relations in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *World Journal of Agricultural Sciences*, *6*(3), 301–308. Available online: **http://www.idosi.org/wjas/wjas6(3)/12.pdf**

Cecchini, C., Bresciani, A., Menesatti, P., Pagani, M.A. & Marti, A. (2021). Assessing the Rheological Properties of Durum Wheat Semolina: *A Review. Foods*, *10*(12), 2947. https://doi.org/10.3390/foods10122947

Chaurand, M., Lempereur, I., Roulland, T.M., Autran, J.C. & Abecassis, J. (1999). Genetic and agronomic effects on semolina milling value of durum wheat. *Crop Science*., 39(3), 790-795. https://doi.org/10.2135/cropsci1999.0011183X003900030029x

Dexter, J. E., Marchylo, B. A., Mac Gregor, A. W. & Tkachuk, R. (1989). The structure and protein composition of vitreous, piebald and starchy durum wheat kernels. *Journal of Cereal Science, 10*(1), 19-32.

Dexter, J. E. & Symons, S. J. (2007). Impact of durum wheat test weight, kernel size, kernel weight and protein content on semolina milling potential. *Int. Miller*, (4th Quarter), 27-33.

Djouadi, K., Mekliche, A., Dahmani, S., Ladjiar, N. I., Abid, Y., Silarbi, Z., Hamadache, A. & Pisante, M. (2021). Durum Wheat Yield and Grain Quality in Early Transition from Conventional to Conservation Tillage in Semi-Arid Mediterranean Conditions. *Agriculture, 11*(8), 711. https://doi.org/10.3390/agriculture11080711

Fiedler, J. D., Salsman, E., Liu, Y., Jiménez, M. M., Hegstad, J. B., Chen, B., Manthey, F. A., Chao, S. X., Elias, E. M. & Li, X. (2017). Genome-Wide Association and Prediction of Grain and Semolina Quality Traits in Durum Wheat Breeding Populations. *The Plant Genome, 10*(3), 1-12. https://doi.org/10.3835/plantgenome2017.05.0038

Fu, B. X., Wang, K., Dupuis, B., Taylor, D. & Nam, S. (2017). Kernel vitreousness and protein content: Relationship, interaction and synergistic effects on durum wheat quality. *Journal of Cereal Science*, 78, 2-9.

Fu, B. X., Wang, K., Dupuis, B., Taylor, D. & Nam, S. (2018). Kernel vitreousness and protein content: Relationship, interaction and synergistic effects on durum wheat quality. *Journal of Cereal Science*, 79, 210-217

Garcia - Calabres, V., Andrade, F., Tabbita, F., Castilla, A., Sillero, J. C., Hernández-Espinosa, N., Ibba, M. I., Guzmán, C. & Alvarez, J. B. (2025). Nutritional and industrial quality assessment of Spanish durum wheat commercial cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 105*(12), 6839-6849. Published online in Wiley Online Library: https://doi.org/10.1002/jsfa.14396

Guzman, C., S. Mondal, V. Govindan, J. E. Autrique, G. Posadas - Romano, F. Cervantes, J. Crossa, M. Vargas, R. P. Singh & Pena, R. J. (2016). Use of rapid tests to predict quality traits of CIMMYT bread wheat genotypes grown under different environments. *LWT - Food Science and Technology*, 69, pp. 327-333.

Kaya, Y. & Akcura, M. (2014). Effects of genotype and environment on grain yield and quality traits in bread wheat (*T. aestivum* L.). *Food Science and Technology, Campinas, 34*(2), 386-393.

Martinez - Pena, R., Rezzouk, F. Z., Díez-Fraile, M. C., Nieto-Taladriz, M. T., Araus, J. L., Aparicio, N. & Vicente, R. (2023). Genotype-by-environment interaction for grain yield and quality traits in durum wheat: Identification of ideotypes adapted to the Spanish region of Castile and Leon. *European Journal of Agronomy*, 151, 126951.

Robinson, F. E., Cudney, D. W. & Lehman, W. F. (1979). Nitrate fertilizer timing, irrigation, protein and yellow berry in durum wheat. *Agronomy Journal, 71*(2), 304–608.

Sieber, A. N., Würschum, T. & Longin, C. F. H. (2015). Vitreosity, its stability and relationship to protein content in durum wheat. *Journal of Cereal Science*, 61, 71-77.

Sissons, M., Abecassis, J., Marchylo, B. & Cubadda, R. (2012). Methods used to assess and predict quality of durum wheat, semolina, and pasta. In: Sissons, M., Abecassis, J., Marchylo, B., Carcea, M. (Eds.), *Durum Wheat: Chemistry and Technology*. AACC International, Inc, St. Paul, pp. 213–234.

Sissons, M., Kadkol, G. & Taylor, J. (2020). Genotype by environment effects on durum wheat quality and yield-implications for breeding Crop Breeding. *Genetics and Genomics, 2* (4), Article e200018. https://doi.org/10.20900/cbgg20200018

Turki, N., Chahdoura, H., Bok, S. E. & Harrabi, M. (2025). Genetic variation of technological quality in durum wheat. *Journal of Oasis Agriculture and Sustainable Development, 7*(1), 1-9. Available online: www.joasdjournal.org https://doi.org/10.56027/JOASD072024

Wang, K. & Fu, B. X. (2020). Inter - Relationships between Test Weight, Thousand Kernel Weight, Kernel Size Distribution and Their Effects on Durum Wheat Milling, Semolina Composition and Pasta Processing Quality. *Foods, 9*(9), 1308. https://doi.org/10.3390/foods9091308

Wang, K., D. Taylor, Y. Chen, J. Suchy & Fu, B. X. (2021). Effect of Kernel Size and Its Potential Interaction with Genotype on Key Quality Traits of Durum Wheat. *Foods*, *10*(12), 2992. https://doi.org/10.3390/foods10122992

Wang, K., Taylor, D., Ruan, Y., Pozniak, C. J., Izydorczyk, M. & Fu, B. X. (2023). Unveiling the factors affecting milling quality of durum wheat: Influence of kernel physical properties, grain morphology and intrinsic milling behaviours. *Journal of Cereal Science,* 113, 103755.

Woźniak, A., Makarski, B. & Tępniowska, A. (2014). Effect of tillage system and previous crop on grain yield, grain quality and weed infestation of durum wheat. *Romanian Agricultural Research*, 31, 129–137. Available online: http://www.incda-fundulea.ro/rar/nr31/rar31.17.pdf (accessed on 27 July 2021).

Yagdi, K. & Sozen, E. (2009). Heritability, Variance Components and Correlations of Yield and Quality Traits in Durum Wheat (*Triticum Durum* Desf.). *Pakistan Journal of Botany*, 41(2), 753-759.

Received: March, 25, 2026; *Approved:* May, 02, 2026; *Published:* June, 2026