

<https://doi.org/10.61308/CJNU6516>

Оценка по добив и качество на напреднали линии твърда пшеница, получени по метода на отдалечената хибридизация

Боряна Хаджииванова, Красимира Танева*, Виолета Божанова, Рангел Драгов

Институт по полски култури – Чирпан, 6200

Селскостопанска академия - София, България

*E-mail: krasimira.taneva@abv.bg

Красимира Танева ORCID: 0000-0001-6554-7435

Генетичното разнообразие, характерно за дивите видове от сем. *Triticeae* може да бъде източник на генетични вариации, свързани с адаптивността на културата към абиотичен и биотичен стрес, към компонентите на добива и показатели, свързани с качеството на зърното. В изследването са използвани шест напреднали линии твърда пшеница от селекционната програма на Института по полски култури - гр. Чирпан, получени в резултат на междувидова и междуродова хибридизация (три кръстоски F_{10-12} , една кръстоска F_{11-13} , една кръстоска BC_2F_{3-5} и BC_2F_{2-4} генерации). За сравнителна оценка на материалите е използван стандартния сорт Предел. Всички генотипове са отгледани през три реколтни години – 2020/2022 в конкурсен сортов опит в четири повторения. Целта на изследването е да се направи оценка на напредналите линии по добив и признаци, свързани с качеството на зърното. За статистическа обработка на данните е използван анализ на варианса. Чрез анализа на варианса е установено доказано влияние на генотипа, годината на отглеждане и взаимодействието между двата фактора върху варирането на почти всички изследвани признаци. Влиянието на генотипа е значително във варирането на признаците: SDS- седиментационна стойност (97.34%), стъкловидност (85.55%), жълт индекс b^* (77.85%), съдържание на протеин в зърното (50.08%), добив зърно (44.24%) и маса на 1000 зърна (36.50%). Значително е влиянието на годината във варирането на признака височина на растението (59.74%). Най-висок добив (672.6 kg/da) средно за трите години на изследването е установен при линия ДВ-8360. Силен глутен по признака SDS- седиментационна стойност е установен за стандартния сорт Предел (43.0 cm³) и за линия Д-232 (35.3 cm³). Идентифицирана е глиадинова фракция γ -45 и НМГ-2 тип за линия Д-232, свързани със силен глутен.

Ключови думи: добив; качество; твърда пшеница; отдалечена хибридизация; анализ на варианса; глиадини.

Evaluation of yield and quality of advanced durum wheat lines obtained by the distant hybridization method

Boryana Hadzhiivanova, Krasimira Taneva*, Violeta Bozhanova, Rangel Dragov

Field Crops Institute – Chirpan, 6200

Agricultural Academy – Sofia, Bulgaria

*E-mail: krasimira.taneva@abv.bg

Krasimira Taneva ORCID: 0000-0001-6554-7435

Citation: Hadzhiivanova, B., Taneva, K., Bozhanova, V., & Dragov, R. (2025). Evaluation of yield and quality of advanced durum wheat lines obtained by the distant hybridization method. *Bulgarian Journal of Crop Science*, 62(1) 3-16 (Bg).

Abstract: The genetic diversity that is characteristic of wild species, of the family *Triticeae*, can be a valuable source of genetic variation, related to the adaptability of the crop to abiotic and biotic stress, yield components

and traits related to grain quality. It were included Six advanced durum wheat lines from the selection program of the Institute of Field Crops - Chirpan, as a result of interspecific and intergeneric hybridization (three crosses F_{10-12} , one cross F_{11-13} , one cross BC_2F_{3-5} and one BC_2F_{2-4} generations). The standard variety Predel was used for comparison. All of genotypes were grown in three harvest years – 2020/2022 in a competition variety trial in four replications. The purpose of the study is to make an assessment of yield and traits related to the quality of the grain. It was used analysis of variance for statistical processing of the data. By the analysis of variance was found a proven influence of the genotype, the year of cultivation and the interaction between the two factors on the variation of almost all the studied traits. The influence of the genotype in the variation of the traits is significant: SDS-sedimentation value (97.34%), vitreousness (85.55%), yellow index b* (77.85%), protein content of grain (50.08%), grain yield (44.24%) and thousand kernel weight (36.50%). It was found a significant influence of the year in the variation of the plant height trait (59.74%). The highest yield (672.6 kg/da) on average for the three years of the study was found for line DV-8360. Strong gluten according to the SDS-sedimentation value was found for the standard variety Predel (43.0 cm³) and for line D-232 (35.3 cm³). The gliadin fraction γ -45 and LMW-2 type, that are associate with strong gluten were identified for line D-232.

Key words: yield; quality; durum wheat; distant hybridization; analysis of variance; gliadins

ВЪВЕДЕНИЕ

Основните приоритети на селекционните програми по твърда пшеница са насочени към постигането на добър баланс между добив и качество на зърното. Съдържанието на протеин, стъкловидност и твърдост на зърното, здравина и разтегливост на тестото, сила на глутена и съдържание на жълти пигменти са основните фактори, определящи доброто качество (Magallanes-Lopez et al., 2017; Mefleh et al., 2019). През последните години в отговор на пазарния натиск и вкуса на клиентите се наблюдава непрекъснато завишаване на изискванията към качествените показатели на твърдата пшеница. Подобряването на качеството на зърното и повишаването на добива са тясно свързани с генетичния потенциал на културата. Използването на генетично сходни сортове ограничава разнообразието на генетичните ресурси при твърдата пшеница и намалява възможностите за постигането на напредък в селекционните програми.

Повишаването на добива и подобряването на качествените показатели на твърдата пшеница може да бъде постигнато чрез използване на нови генетични източници. Дивите видове от сем. *Triticeae* са носители на голям брой характеристики, които представляват

интерес за селекцията на твърдата пшеница (Mohammadi and Mohammadi, 2024). Генетичното разнообразие при тези видове се свързва с висока адаптивна способност към неблагоприятни биотични и абиотични фактори на средата и наличието на признаци с агрономическа ценност – висок брой на класчетата, по-голям размер на зърното, високо съдържание на глутен и лизин.

Включването на тетраплоидни видове от р. *Triticum* в селекцията на твърдата пшеница е възможност за разширяване на генетичния фонд на културата. ВА-геномните видове, с изключение на част от *Triticum dicoccoides*, са лесно кръстосваеми един с друг и произвеждат фертилни хибриди (Goncharov, 2014). Видът *Triticum polonicum* (ВА геном) е подходящ източник на генетично вариране поради наличието на редица ценни в селекционно отношение признаци – едро зърно, ранозрялост, устойчивост към гъбни заболявания. Palombieri et al. (2023) установяват добри технологични характеристики и по-високо количество на микро- и макроелементи, както и по-ниско количество токсичен кадмий в два изследвани образеца *Triticum polonicum*. Vozhanova et al. (2004), при оценка на вида *Triticum polonicum* установяват, че се отличава с по-високо съдържание на протеин, по-ви-

сок SDS – седиментационен обем и е носител на γ -глюадин. *Triticum polonicum* се счита от Mishra et al. (1996) като най-добрият ВА вид за увеличаване на добива, поради най-висока продуктивност, брой зърна в клас и способност за братене. Видът от който се смята, че произлиза *Triticum durum* - *Triticum dicoccum* (ВА геном) е ценен източник на гени за устойчивост на болести, устойчивост на полягане и екологична стабилност (Knott and Zang, 1990; Simeone et al., 1998; Bohuslavskij et al., 2001). Видът се отличава с високо съдържание на фибри и високо смилаем протеин, по-бавна смилаемост на въглехидратите, устойчиво нишесте (Mohan and Malleshi, 2006) и високо съдържание на антиоксиданти и минерали (Cakmak et al., 2004).

Видовете от род *Aegilops* са генетично свързани с твърдата пшеница. Смята се, че първоизточникът на пшеничния В геном е вид от р. *Aegilops* (Huang et al., 2002). Видовете от този род могат да се използват като източници на гени за устойчивост на биотични и абиотични стресови въздействия (Stankova et al., 1995; Pradhan et al., 2012; Molnár-Láng et al., 2015). Сред тях, *Aegilops tauschii* и *Aegilops kotschyi* показват по-високо съдържание на желязо и цинк в зърното в сравнение с култивираната пшеница (Chhuneja et al., 2006). Според Tiwari et al. (2008) *Aegilops tauschii* проявява и качества свързани с увеличаване на биомасата и потенциала за добив. Li et al. (2015) установяват съдържание на жълти пигменти при *Aegilops tauschii* с висока средна стойност (7.79 mg/kg^{-1}) и обхват ($4.29\text{--}15.59 \text{ mg/kg}^{-1}$), значително по-високи от другите изследвани видове и докладват за голямо генетично вариране по този признак при хибридите на *Trtiticum durum* \times *Aegilops tauschii*.

Използването на отдалечена хибридизация в селекцията на твърдата пшеница създава генетично обогатена хибридна популация. Генетичният материал, продукт на формобразователният процес в популацията, дава възможност за отбор и за създаване на нови линии и сортове в следващите поколения (Hadzhiivanova and Bozhanova, 2010).

Оценяването по качество на селекционни материали, получени в резултат на отдалечено кръстосване в началните генерации не е възможно, поради трудността да се анализират големия брой потомства, получени от една хибридна комбинация, а анализирането по качество в хетерозиготни линии не дава реална представа за качеството на чистите линии. Оценяването би трябвало да се извършва при селекционни линии, достигнали до предварителни конкурсни полски опити (около F_7), избрани по агрономически характеристики и добив от предварителните изпитвания.

При въвеждане на чужди гени в генома на твърдата пшеница се наблюдава проява на негативно въздействие на генетични фрагменти, свързани с търсените гени от дивия вид, които потискат експресията на признаци характерни за културните сортове. Методът на обратното кръстосване, в този случай, дава възможност за прехвърляне на желани признаци от един вид в друг чрез провеждане на отрицателна фенотипна и/или генотипна селекция срещу неблагоприятни гени, произхождащи от родителя донор (Tanksley and Nelson, 1996).

Целта на изследването е да се направи оценка по добив и признаци, свързани с качеството на зърното на шест напреднали линии твърда пшеница, получени в резултат на междувидова и междуродова хибридизация.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

В изследването са включени шест напреднали линии твърда пшеница от селекционната програма на Институт по полски култури - гр. Чирпан (Таблица 1). Линиите са получени в резултат на междувидова и междуродова хибридизация (три кръстоски F_{10-12} , една кръстоска F_{11-13} , една кръстоска BC_2F_{3-5} и BC_2F_{2-4} генерации). За сравнителна оценка на материалите е използван стандартният сорт Предел. Всички генотипове са отгледани през три реколтни години – 2020/2022 в конкурсен сортов опит по рандомизирана блокова схема

в четири повторения с големина на реколтната парцелка 15 m².

Съдържанието на протеин в зърното е определено по метода на Келдал (N x 5,7) по БДС EN ISO 20483: 2014, а на мокър глютен по БДС EN ISO 21415-2: 2008. Оценката на силата на глутена е извършена чрез измерване на обема на утайката на пълнозърнесто брашно (шрот) в разтвор на млечна киселина - натриев додецил сулфат (SDS) при стандартно време на утаяване (ICC 151: 1990). 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. Измерени са стойностите на жълтия цвят b* по кубичната цвetoва система CIE L*a*b*. Измерването е направено на зърно посредством колориметър Minolta CR – 410. Колкото по-висока е стойността на b*, толкова по-голямо е количеството на каротеноидите. Колориметърът е калибриран със стандартна калибровъчна плоча.

Получените резултати са обработени статистически чрез анализ на варианса (ANOVA). Всички статистически анализи са извършени с помощта на програмата Statistica 13.0 (TIBCO, Software, 2018).

Екстракцията на глиадините е извършена със 70% етилов алкохол. Разделянето на белтъчните фракции е извършено с едномерна кисела вертикална електрофореза (А-ПАГЕ) по Khan et al. (1983) с известни модификации, направени в ЛБХЗЖК на ДЗИ – Г. Тошево. Електрофорезата е осъществена на 8% разделящ гел, а дебелината на гелната плака е 2 mm при постоянна сила на тока от 60 mA, която след 1 час се увеличава на 120 mA. Продължителността на електрофорезата при тези условия е около 5 часа при постоянна температура от 10°C. След това геловете се фиксират и оцветяват с 0.15% кумаси брилянт блу (СВВ) R250, 20% етанол и 12% трихлороцетна киселина за 24 часа. Следва обезцветяване с дестилирана вода. Като стандарт в електрофоретичното изследване е използван сорт Агрідур - *GliB1γ-45* (НМГ-2 тип). Глиадиновите фракции в локус *Gli-B1* (γ-глиадини) са отчетени в съответствие с Kudryavtsev et al. (1996).

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ

Според анализа на варианса е установено доказано влияние на генотипа, годината на

Таблица 1. Произход и селекционна фаза на напреднали линии твърда пшеница получени в резултат на междувидова и междуродова хибридизация

Table 1. Origin and breeding phase of advanced durum wheat lines obtained as a result of interspecific and intergeneric hybridization

Номер на линия/ Line number	Кръстоски/ Crosscombinations	Година на създаване/ Year of release	Селекционна фаза (2020/ 2021/ 2022 г.)/ Breeding phase (2020/ 2021/ 2022)
ДВ-8357/ DV-8357	<i>Tr. polonicum</i> x <i>Tr. durum</i>	2010	F ₁₁₋₁₃
ДВ-8358/ DV-8358	<i>Tr. polonicum</i> x <i>Tr. durum</i>	2011	F ₁₀₋₁₂
Д-8572/ D-8572	<i>Tr. polonicum</i> x <i>Tr. durum</i>	2011	F ₁₀₋₁₂
ДВ-8360/ DV-8360	<i>Tr.durum</i> (7208) x <i>Aeg. kotschyi</i>	2011	F ₁₀₋₁₂
ДВ-8417/ DV-8417	(<i>Tr.durum</i> x <i>Ae. tauschii</i>)F ₂ x <i>Tr.durum</i>)BC ₁ F ₁) x <i>Tr.durum</i>)	2013	BC ₂ F ₃₋₅
Д-232/ D-232	(Виктория x <i>Tr. dicoccum</i>)F ₃ x Виктория)BC ₁ F ₁ x Предел)/ (Victoria x <i>Tr. dicoccum</i>)F ₃ x Victoria)BC ₁ F ₁ x Predel)	2013	BC ₂ F ₂₋₄

отглеждане и взаимодействието между двата фактора върху варирането на почти всички изследвани признаци (Таблица 2).

Варирането на признаците: SDS-седиментационна стойност (97.34%), стъкловидност (85.55%), жълт индекс b^* (77.85%), съдържание на протеин в зърното (50.08%), добив зърно (44.24%) и маса на 1000 зърна (36.50%) се дължи в най-голяма степен на генотипа. Sourour et al. (2018), установяват значително влияние на генотипа във варирането на признаците маса на 1000 зърна и сила на глутена. Значително е влиянието на годината върху варирането на признаците: височина на растенията (59.74%) и маса на 1000 зърна (36.31%). Martinez-Pena et al. (2023), също докладват значително влияние на средата върху варира-

нето на масата на 1000 зърна. Въпреки по-голямото влияние на генотипа върху варирането на добива се установява и значително влияние на средата (39.61%) и на генотип - среда взаимодействието (15.17%). Според Romena et al. (2022), един от основните признаци по които се води отбор в селекционните програми е добивът. Редица автори обясняват значителното вариране на този признак с влиянието на факторите на средата (Chairi et al., 2020; Evlice et al., 2023). Докладвано е значително по-голямо влияние на генотипа върху варирането на признаците: SDS – седиментационна стойност и съдържание на жълти пигменти от много изследователи (Longin et al., 2013; Martini et al., 2015; Evlice et al., 2023). Според анализа на варианса влиянието на взаимодействието

Таблица 2. Анализ на варианса на някои изследвани признаци на напреднали линии твърда пшеница получени в резултат на междувидова и междуродова хибридизация

Table 2. Analysis of variance of some investigated traits of advanced durum wheat lines obtained as a result of interspecific and intergeneric hybridization

Признаци/ Traits	Източник на вариране, % от общото вариране/ Source of variation, % from the total variation								
	Генотип/ Genotype			Година/ Year			Взаимодействие/ Interaction		
	SS	MS	η^2 %	SS	MS	η^2 %	SS	MS	η^2 %
Добив зърно/ Yield of grain	166945	27824***	44.24	149473	74736***	39.61	57234	4769***	15.17
Височина на растение/ Plant height	1774.8	295.8***	28.41	3732	1866***	59.74	695.5	58***	11.13
Маса на 1000 зърна/ Thousand kernel weight	219.6	36.6***	36.50	218.5	109.3***	36.31	163.2	13.6***	27.12
Съдържание на протеин/ Protein content	23.9	3.98***	50.08	7.65	3.82***	16.03	15.63	1.3***	32.75
Съдържание на мокър глутен, % / Wet gluten content, %	107.04	17.84***	35.11	36.01	18.00***	11.81	161.42	13.45***	52.94
SDS-седиментационна стойност / SDS-sedimentation value	5498.86	916.48***	97.34	56	28.00***	0.99	52	4.33***	0.92
Жълт индекс b^* / Yellow index b^*	32.75	5.46***	77.85	5.82	2.91***	13.83	3.5	0.29***	8.32
Стъкловидност/ Vitreousness	532.9	88.8***	85.55	43.7	21.9***	7.02	45.9	3.8***	7.37
Хектолитрова маса/ Test weight	26.5	4.4***	32.51	0.2	0.1ns	0.25	52.1	4.3***	63.93

*** Significant at $p < 0.001$, ** Significant at $p < 0.01$, * Significant at $p < 0.05$ ns – not significant

генотип x среда е значително за варирането на признаците съдържание на мокър глутен (52.94%) и хектолитрова маса (63.93%). Sieber et al. (2015), обясняват варирането на показателя хектолитрова маса най-вече с факторите на средата, но в това изследване влиянието на годината не е статистически доказано.

Повишаването на добива на зърно е основна цел на селекционните програми по твърда пшеница. Влиянието на няколко основни признака, като височина на растението, братимост, дължина на класа, брой на класчета в класа, брой зърна в клас, тегло на зърната в клас, маса на хиляда зърна са определящи за неговото формиране (Mohammadi et al., 2021; Хуниас et al., 2020). По-голямото генетично вариране на част от тези признаци, което се среща в дивите видове може да бъде използвано за тяхното оптимизиране. Според Zaim et al. (2017), кръстоските с отдалечени видове имат по-добър потенциал по отношение на резистентност към някои листни ръжди, размер на зърното, съдържание на протеин и селекцио-

нен индекс, в сравнение с елитните комерсиални сортове.

Резултатите за показателите добив и височина на растенията по години и като средни стойности са представени в таблица 3. Средно за трите години на изследването две от анализиранияте линии надвишават по добив стандартния сорт Предел (636 kg/da). Това са линиите ДВ-8360 (672.6 kg/da) и ДВ-8417 (646.1 kg/da). Линия ДВ-8417 е линия от отдалечена хибридизация с *Aegilops tauschii*, а линия ДВ-8360 от отдалечена хибридизация с *Aegilops kotshyi*. Добрият добивен потенциал на линия ДВ-8417, е възможно да бъде свързан с преноса на сегменти от генома на дивия родител, за който в литературата се срещат съобщения, че е източник на гени за повишена биомаса и добив на зърно и устойчивост на абиотични стресови въздействия. Според Tiwari et al., (2008) хибридите с *Aegilops tauschii* се характеризират с по-висок потенциал за добив, което се потвърждава в нашето изследване.

Таблица 3. Средни стойности на признаците добив и височина на растението на напреднали линии твърда пшеница получени в резултат на междувидова и междуродова хибридизация

Table 3. Mean values of yield and plant height traits of advanced durum wheat lines obtained as a result of interspecific and intergeneric hybridization

Генотип/ Genotype	Добив, kg/da / Yield, kg/da				Височина на растението, cm/ Plant height, cm			
	2020 година/ 2020 year	2021 година/ 2021 year	2022 година/ 2022 year	Средно/ Average	2020 година/ 2020 year	2021 година/ 2021 year	2022 година/ 2022 year	Средно/ Average
ДВ-8357/ DV-8357	538.1	524.2	455.3	505.9	93	102	92	95.7
ДВ-8358/ DV-8358	587.74	648.1	514.6	583.48	89	108	90	95.7
Д-8572 / D-8572	668.5	651.8	566.1	628.8	85	102	79	88.7
ДВ-8360/ DV-8360	654.3	729.4	634.2	672.6	92	99	77	89.3
ДВ-8417/ DV-8417	666.28	666.28	605.7	646.1	107	115	94	105.3
Д-232/ D-232	653.4	742.1	470.8	622.1	85	102	84	90.3
Предел/ Predel	660.7	679.8	567.5	636	99	101	82	94.0

По отношение на признака височина на растенията втората година на изследване се характеризира със значително по-високи стойности, което вероятно се дължи на условията на средата. Средно за трите години на изследването с най-голяма височина на растенията се характеризира линия ДВ-8417 (105 cm), а с най-малка линия Д-8572 (88.7 cm). Три от линиите се характеризират с по-ниска височина на растенията спрямо стандартния сорт Предел (94 cm). Това са линиите: Д-8572, ДВ-8360 (89.3 cm) и Д-232 (90.3 cm).

Резултатите за показателите свързани с млевното качество на изследваните генотипове твърда пшеница са представени в таблица 4. Хектолитровата маса е основен показател за млевно качество на твърдата пшеница. Този показател, обаче е косвен, защото се влияе силно от фактори, като влажност на пшеницата, плътност и форма на зърното, агрометеорологични условия на годините, сорт и начин на отглеждане (Wang and Fu, 2020;

Angelova et al., 2023). Желателни стойности за хектолитрова маса на зърното са над 77-78 kg/hl. Средно за трите години на изследването анализирани линии се характеризират с добри стойности по този показател. Най-ниска стойност за хектолитровата маса е установена за линия Д-232 (76.1 kg/hl), а най-висока за линия Д-8572 (78.2 kg/hl). Тази линия се характеризира с малко по-висока хектолитрова маса спрямо стандартния сорт Предел (78.0 kg/hl).

Според Wang et al. (2021), масата на 1000 зърна е по-добър индикатор за млевен потенциал от хектолитровата маса. С намаляването на размера на зърната от големи до средни, добивите грис и общите добиви от смилането постепенно намаляват, а за най-дребните зърна, авторите установяват най-нисък добив грис. Всички изследвани линии се характеризират със средно едро зърно. С най-едро зърно средно за трите години се характеризира линия ДВ-8358 (46.5 g) и надвишава по

Таблица 4. Средни стойности на признаците хектолитрова маса, маса на 1000 зърна и стъкловидност на напреднали линии твърда пшеница получени в резултат на междувидова и междуродова хибридизация

Table 4. Mean values of test weight, thousand kernel weight and vitreousness of advanced durum wheat lines obtained as a result of interspecific and intergeneric hybridization

Генотип/ Genotype	Хектолитрова маса, kg/hl/ Test weight, kg/hl				Маса на 1000 зърна, g/ Thousand kernel weight, g				Стъкловидност, %/ Vitreousness, %			
	2020 година/ year	2021 година/ year	2022 година/ year	Средно/ Average	2020 година/ year	2021 година/ year	2022 година/ year	Средно/ Average	2020 година/ year	2021 година/ year	2022 година/ year	Средно/ Average
ДВ-8357 DV-8357	77.9	77.5	78.0	77.8	41.4	44.8	42.1	42.8	89.9	87.8	88.2	88.6
ДВ-8358 DV-8358	77.8	77.6	78.0	77.8	44.6	48.4	46.5	46.5	90.2	88.1	89.3	89.2
Д-8572 D-8572	79.1	77.4	78.0	78.2	45.2	47.2	44.6	45.7	96.3	94.8	98.8	96.6
ДВ-8360 DV-8360	75.9	78.2	78.5	77.5	39.4	46.6	45.2	43.7	88.2	87.3	86.4	87.3
ДВ-8417 DV-8417	76.4	77.4	78.5	77.4	38.4	42.6	41.6	40.9	89.6	88.2	88.4	88.7
Д-232 D-232	77.2	77.4	73.7	76.1	43.4	48.0	38.4	43.3	92.4	90.1	94.1	92.2
Предел/ Predel	78.2	77.8	78.0	78.0	41.8	48.2	47.6	45.9	92.6	89.2	90.3	90.7

този показател стандартния сорт Предел (45.9 g). С едро зърно за периода на изследването се характеризира и линия Д-8572 (45.7 g). И двете линии са с произход *Tr. polonicum* x *Tr. Durum*. Видът *Triticum polonicum* се характеризира с едро зърно, а според проучвания на Vozhanova et al. (2004) и с по-високо протеиново съдържание и SDS-седиментационна стойност. Основен показател за структурно – механичните свойства на зърното от твърда пшеница е стъкловидността. Качествено зърно е високо стъкловидно и притежава стъкловидност над 75-80%. Всички изследвани линии се характеризират с висока стъкловидност. Две от анализирани линии надвишават стандартния сорт Предел (90.7%). Това са линиите Д-8572 (96.6%) и Д-232 (92.2%). Редица автори откриват силна взаимовръзка на стъкловидните зърна с по-високо съдържание на протеин (Sieber et al., 2015; Oktem et al., 2019).

Резултатите за показателите съдържание на протеин и мокър глютен в зърното на из-

следваните линии твърда пшеница по години и като средни стойности са представени в таблица 5. Високото протеиново съдържание е важен признак свързан с качеството и гарантира получаването на хомогенен грис и еластична, устойчива при варене структура на макаронените изделия (Padalino et al., 2014; Mefleh et al., 2019). Според проучванията на много автори твърдата пшеница притежава по-добри агрономически характеристики и качество на протеина в сравнение с други тетраплоидни пшеници, но съдържанието на протеин е по-ниско (Ruan et al., 2012; Cabas-Lühmann et al., 2023). Всички анализирани линии в това изследване се характеризират с добро съдържание на протеин и мокър глютен в зърното. За три от изследваните линии са установени по-високи стойности по тези показатели средно за трите години на изследването спрямо стандартния сорт Предел (14.9% с.в. протеин и 30.9% с.в. мокър глютен). Това са линиите Д-232 (15.7% с.в. протеин и съответно 31.9% с.в. мокър глютен), ДВ-8360

Таблица 5. Средни стойности на признаците съдържание на протеин и мокър глютен в зърното на напреднали линии твърда пшеница получени в резултат на междувидова и междуродова хибридизация
Table 5. Mean values of the traits protein content and wet gluten in the grain of advanced durum wheat lines obtained as a result of interspecific and intergeneric hybridization

Генотип/ Genotype	Съдържание на протеин, %/ Protein content, %				Съдържание на мокър глютен, %/ Wet gluten content, %			
	2020 година/ 2020 year	2021 година/ 2021 year	2022 година/ 2022 year	Средно/ Average	2020 година/ 2020 year	2021 година/ 2021 year	2022 година/ 2022 year	Средно/ Average
ДВ-8357/ DV-8357	13.8	14.0	13.9	13.9	27.4	28.2	28.0	27.9
ДВ-8358/ DV-8358	14.1	14.4	14.2	14.2	28.6	34.1	28.8	30.5
Д-8572/ D-8572	12.3	14.1	14.8	13.7	24.8	31.5	31.0	29.1
ДВ-8360/ DV-8360	15.1	14.5	15.1	14.9	31.4	31.9	30.6	31.3
ДВ-8417/ DV-8417	15.1	14.1	15.1	14.8	31.2	30.8	32.0	31.3
Д-232/ D-232	15.6	14.8	16.6	15.7	31.4	29.6	34.6	31.9
Предел/ Predel	14.9	13.9	15.8	14.9	30.5	30.2	32.1	30.9

(15.1% с.в., 31.3% с.в.) и ДВ-8417 (14.8% с.в., 31.3% с.в.). Линия Д-232 е беккросна линия твърда пшеница с произход *Triticum durum* x *Triticum dicoccum*. Редица проучвания установяват много високо съдържание на протеин и глютен в двузърнестия лимец в сравнение с твърдата пшеница (Petrenko et al., 2018; Fyroj et al., 2020; Tran et al., 2020). Хранителната стойност на зърното на *Triticum dicoccum* се дължи на високото протеиново съдържание (18 - 23%), общия дял на незаменимите аминокиселини в протеина и високата степен на смилаемост на протеиновите съединения (Kuznetsova et al., 2019). Това обяснява и интереса към включването му в кръстоски за повишаване на протеиновото съдържание на твърдата пшеница. Беккросна линия твърда пшеница, носеща различни хромозомни сегменти от *Triticum dicoccum* се отличава с по-високо съдържание на протеин и глютен в сравнение с рекурентния родител твърда пшеница (Todorovska et al., 2013).

Основни признаци свързани с качеството на зърното от твърда пшеница са съдържанието на жълти пигменти и силата на глютена. Резултатите за показателите съдържание на жълти пигменти и SDS – седиментационна стойност са представени в таблица 6. Лутеинът, който се натрупва в ендосперма на тетраплоидната пшеница е основен фактор, влияещ върху съдържанието на жълти пигменти в зърното (Colasuonno et al., 2019). Каротеноидите отговарят за желанния жълт цвят на макаронените изделия и са важен естетически признак (Toti et al., 2018; Meena and Samal, 2019). С по-висок жълт индекс b^* и съответно по-високо съдържание на жълти пигменти спрямо стандартния сорт Предел (17.29 b^*) средно за трите години на изследването се характеризира линия Д-232 (18.09 b^*). Установено е обаче, че зърното на *Triticum dicoccum* се характеризира с по-ниски стойности на β -каротин от традиционните сортове пшеница (Hailu and Merker, 2008; Kuznetsova et al.,

Таблица 6. Средни стойности на признаците съдържание на жълти пигменти в зърното и SDS – седиментационна стойност на напреднали линии твърда пшеница получени в резултат на междувидова и междуродова хибридизация

Table 6. Mean values of the traits yellow pigment content in the grain and SDS - sedimentation value of advanced durum wheat lines obtained as a result of interspecific and intergeneric hybridization

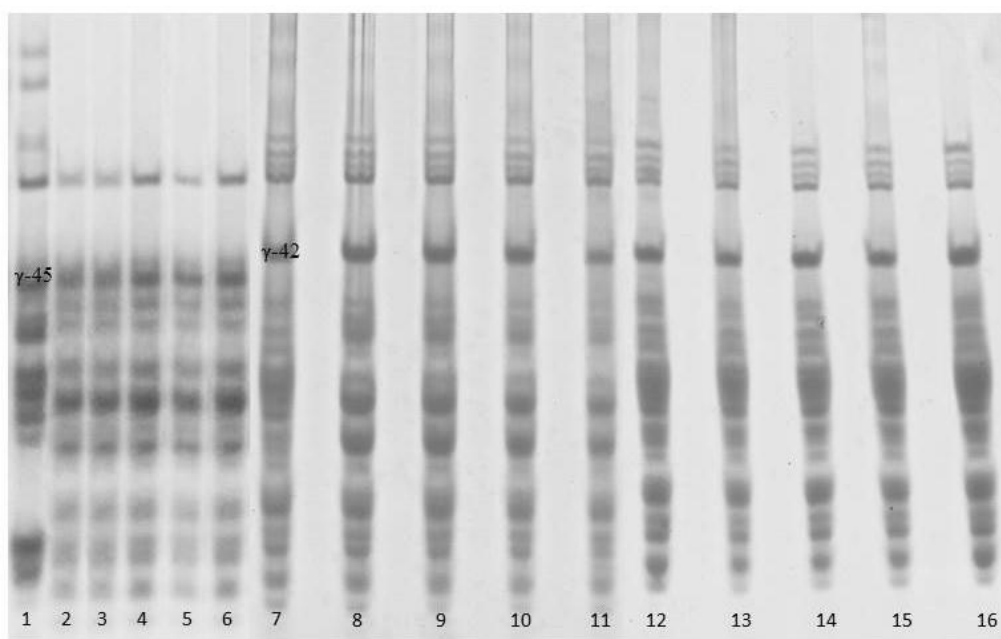
Генотип/ Genotype	Съдържание на жълти пигменти, b^* / Yellow pigments content, b^*				SDS, cm^3			
	2020 Година/ 2020 year	2021 година/ 2021 year	2022 година/ 2022 year	Средно/ Average	2020 година/ 2020 year	2021 година/ 2021 year	2022 година/ 2022 year	Средно/ Average
ДВ-8357/ DV-8357	17.31	16.62	17.12	17.02	18	20	18	18.7
ДВ-8358/ DV-8358	16.72	16.37	16.34	16.48	17	18	20	18.3
Д-8572/ D-8572	18.10	16.32	17.21	17.21	16	18	18	17.3
ДВ-8360/ DV-8360	16.40	15.84	16.12	16.12	17	20	18	18.3
ДВ-8417/ DV-8417	15.94	15.68	15.81	15.81	16	18	18	17.3
Д-232/ D-232	18.44	17.32	18.52	18.09	36	35	35	35.3
Предел/ Predel	17.53	17.11	17.23	17.29	42	45	42	43

2019). За две от линиите: Д-8572 и ДВ-8357 е установен жълт индекс b^* близък до този на стандартния сорт. Според проучване на Suchowilska et al. (2020) зърното, брашното и триците на *Triticum polonicum* са с най-малко изобилие на каротеноиди в сравнение с останалите анализирани видове, като значителни разлики се наблюдават най-вече между *Tr. polonicum* и *Triticum durum*. Въпреки това зърното на *Triticum polonicum* съдържа повече лутеин, зеаксантин и β – каротин от твърдата пшеница.

Генотипове с добро качество на глутена се характеризират със SDS – стойности над 30 – 40 cm^3 , а със стойности над 40 cm^3 се характеризират генотипове твърда пшеница с отлично качество и силен глютен (Wang et al., 2017). Високи SDS – седиментационни стойности и следователно силен глютен средно за трите години на това изследване са установени за стандартния сорт Предел (43 cm^3) и за линия Д-232 (35.3 cm^3). Високи SDS-седиментационни стойности за *Triticum dicoccum*, докладват Petrenko et al. (2018).

Проведена е електрофореза за установяване на γ -глиадиновия състав на линиите,

които се характеризират с най-висок добив (ДВ-8360 и ДВ-8417) и линия Д-232 за която е установена най-висока SDS-седиментационна стойност (Фигура 1). Анализирани са по 5 семена от всяка линия. Един от най-добрите индикатори за оценка на силата на глутена са глиадините, кодирани от *Gli-B1* локуса, тъй като се визуализират по-лесно и бързо в А-ПАГЕ гелове. Установени са взаимовръзки между някои глиадини в *Gli-B1* и някои НМГ – субединици в *Glu-B3*. Според редица автори (Ruiz et al., 2018; Ruiz and Giraldo, 2021) глиадин γ -45 се свързва със субединици 2 и 4, глиадин γ -44 е свързан със субединица 3, а γ -42 със 7 или 8. В изследваните линии твърда пшеница са идентифицирани две от деветте кодирани от локус *Gli-B1* γ -глиадинови фракции. Благоприятната за качеството на глутена глиадинова фракция γ -45 и НМГ-2 тип са установени за беккросната линия Д-232. Останалите две анализирани линии експресират глиадинова фракция γ -42, която се свързва с лошо глутеново качество и НМГ-1 тип. В по-ранни проучвания на сорт Предел, който е стандарт за качество и добив в България е установена експресия на глиадинова фракция



Фигура 1. А-ПАГЕ на глиадини: 1. Агридур (стандарт); 2-6. Д-232; 7-11. ДВ-8360; 12-16. ДВ-8417
Figure 1. A-PAGE of gliadins: 1. Agri dur (standart); 2-6. D-232; 7-11. DV-8360; 12-16. DV-8417

γ -45. Doneva and Spetsov (2013), установяват в два образца от дивия вид *Triticum dicocum* наличието на глиадинова фракция γ -45. Възможно е глиадин γ -45 да е прехвърлен в линия Д-232 от сорт Предел или от дивия родител *Triticum dicocum*.

ИЗВОДИ

Според анализа на варианса е установено най-голямо влияние на генотипа върху варирането на признака SDS-седиментационна стойност (97.34%), което потвърждава генетичната природа на този признак. Съществено е влиянието на генотипа върху варирането на признаците: стъкловидност (85.55%) и жълт индекс b^* (77.85%). Въпреки по-голямото влияние на генотипа върху варирането на добива (44.24%) се установява и значително влияние на годината (39.61%).

Най-висок добив средно за трите години на изследване е установен за линия ДВ-8360 (672.6 kg/da) с произход *Triticum durum* x *Aegilops kotschyi*. С висок добив се отличава и линия ДВ-8417, която е линия от отдалечена хибридизация с *Aegilops tauschii*. За кръстоските с *Aegilops tauschii* съществува информация за по-висок потенциал за добив, което се потвърждава и от настоящето изследване. Всички анализирани линии се характеризират с висока стъкловидност и средно едро зърно, като най-високи стойности за маса на 1000 зърна са установени за две от анализирани линии с произход *Triticum polonicum* x *Triticum durum*. Това са линии ДВ-8358 и Д-8572. С най-високо съдържание на протеин и мокър глютен в зърното, силен глютен и най-висока стойност на жълт индекс b^* се отличава линия Д-232. Тя е беккросна линия от отдалечена хибридизация с *Triticum dicocum* и притежава глиадинова фракция γ -45, свързана с НМГ – 2 тип и силен глютен. Тази линия може да се използва, като донор в кръстоски за повишаване на качеството на зърното в селекционната програма по твърда пшеница,

а линиите с висок добив, като донори в кръстоски за повишаване на добива.

Благодарности

Изследването е представено на юбилейната научна конференция с международно участие „Устойчиво и конкурентноспособно земеделие в условията на глобални климатични промени“, проведена на 03-04 септември 2024 г. в Института по царевицата – Кнежа, България.

ЛИТЕРАТУРА

- Angelova, T., Dimitrov, E., Uhr, Z., Vida, G., & Bozadzhiiev, B. (2023). Evaluation of Yield and Technological Qualities of Hungarian Common Winter Wheat Varieties in Central Southern Bulgaria. *Journal of Mountain Agriculture on the Balkans*, 26 (2), 181-203.
- Bozhanova, V., Dechev, D., Deneva, M., Lalev, C. & Ivanov, P. (2004). Study of *Graminea* species for inclusion in the durum wheat breeding program. *Bulgarian Journal of Crop Science*, 41, 489-494 (Bg).
- Hadzhiivanova, B., & Bozhanova, V. (2010). Investigation interspecific hybrids when crossing durum wheat with the wild species *Aegilops cylindrica*. *Field Crops Study*, 7 (3), 355-361 (Bg).
- Doneva, S. & Spetsov, P. (2013). Protein compositions in three synthetic hexaploid wheats (2n=42, BBAUAUDD). *Annual scientific book of TU-Varna, t. 2*, pp. 23-29 (Bg).
- Bohuslavskiy, R. L. & Golik, O. V. (2001). Genetic resources of the cultivar *Triticum dicocum* Schrank (Schuebl.) for wheat selection in Ukraine. *Selektsiya i Nasinnystvo*, 85: 72-83.
- Cabas-Lühmann, P., Arriagada, O., Matus, I., Marcotuli, I., Gadaleta, A. & Schwember, A. R. (2023). Comparison of durum with ancient tetraploid wheats from an agronomical, chemical, nutritional, and genetic standpoints: a review. *Euphytica*, 219, p. 61. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10681-023-03188-z>
- Cakmak, I., Torun, A., Millet, E., Feldman, M., Fahima, T., Korol, A., Nevo, E., Braun, H.J. & Özkan, H. (2004). *Triticum dicocoides*: An important genetic resource for increasing zinc and iron concentration in modern cultivated wheat. *Soil Sci Plant Nutr*, 50, pp.1047-1054.
- Colasuonno, P., Marcotuli, I., Blanco, A., Maccaferri, M., Condorelli, G. E., Tuberosa, R., Parada, R., de Camargo, A.C., Schwember, A. R., & Gadaleta, A. (2019). Carotenoid pigment content in durum wheat

- (*Triticum turgidum* L. var durum): an overview of quantitative trait loci and candidate genes. *Frontiers and Plant Science*, 10, p. 1347. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01347>
- Chairi, F., Aparicio, N., Serret, M. D. & Araus, J. L.** (2020). Breeding effects on the genotype × environment interaction for yield of durum wheat grown after the Green Revolution: The case of Spain. *The Crop Journal*, 8, pp. 623-634.
- Chhuneja, P., Dhaliwal, H. S., Bains, N. S., & Singh, K.** (2006). *Aegilops kotschyi* and *Aegilops tauschii* as sources for higher levels of grain iron and zinc. *Plant Breeding*, 125(5), 529 – 531.
- Fyroj, S. S., Biradar, S. S., Desai, S. A., Naik, R. V., Patil, M. K., Sneha, L. & Sewaram** (2020). *Triticum dicoccum* Schubler wheat: A potential source for wheat bio-fortification program. *International Journal of Chemical Studies*, 8(5):1417-1422. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i5t.10499>
- Goncharov, N.** (2014). Biodiversity of tetraploid wheats: taxonomy, studying, increasing and preservation. *Options Méditerranéennes*, A No. 110, 2014 - Proceedings of the International Symposium on Genetics and breeding of durum wheat.
- Hailu, F. & Merker, A.** (2008). Variation in gluten strength and yellow pigment in Ethiopian tetraploid wheat germplasm. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55 (2), 277- 285. <https://doi.org/10.1007/s10722-007-9233-6>
- Huang, S., Sirikhachornkit, A., Su, X., Faris, J., Gill, B., Haselkorn, R. & Gornicki, P.** (2002). Genes encoding plastid acetyl-CoA carboxylase and 3-phosphoglycerate kinase of the *Triticum/Aegilops* complex and the evolutionary history of polyploid wheat. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 99 (12), 8133-8138. <https://doi.org/10.1073/pnas.072223799>
- Kaplan, E.A., Keskin, Ş., Pehlivan, A., Şanal, T., Ünsal, C.F., Avcioglu, R., Salantur, A., Yazar, S., Özdemir, B., Alyamaç, M.E., Kılıç, G., Avci, M.İ & Sade, F.B.** (2023). Yield and quality characteristics of durum wheat genotypes under rainfed conditions in Central Anatolia Region. *Genetika*, 55 (2), 759-773.
- Khan, K., McDonald, E. & Banasik, O.** (1983). Polyacrylamide gel electrophoresis of gliadin proteins for wheat variety. Identification-procedural modifications and observations. *Cereal Chemistry*, 60(2), 178-181.
- Knott, D.R. & Zang, H.T.** (1990). Leaf rust resistance in durum wheat and its relatives. In: Wheat Genetic Resources: Meeting Diverse Needs, Srivastava, J.P. and Damania, A.B. (eds). John Wiley and Sons, Chichester, UK, pp. 311-316.
- Kudryavtsev, A., Illichevskii, N., Boggini, G. & Benedetti, S.** (1996). Gliadin polymorphism and genetic diversity of modern Italian durum wheat. *Journal of Genetics and Breeding*, 50, 239-248.
- Kuznetsova, E., Shayapova, L., Klimova, E., Nasrullaeva, G., Brindza, J., Stolyarov, M., Zomiteva, G., Bychkova, T., Gavrilina, V. & Kuznetsova, E.** (2019). Composition, quality characteristics and microstructure of the grain *Triticum Dicoccum*. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 13 (1), 933-940. <https://doi.org/10.5219/1174>
- Li, Y. F., Wu, Y., Wang, T., Li, L. R., Lu, L., Zhang, C. Y., Li, J. M., Zhang, L., Liu, Z. H. & Zheng, S. G.** (2015). Polyphenol oxidase activity and yellow pigment content in *Aegilops tauschii*, *Triticum turgidum*, *Triticum aestivum*, synthetic hexaploid wheat and its parents. *Journal of Cereal Science*, 65, 192-201. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.07.011>
- Longin, C. F. H., Sieber, A. N. & Reif, J. C.** (2013). Combining frost tolerance, high grain yield and good pasta quality in durum wheat. *Plant Breeding*, 132, 353–358.
- Magallanes-Lopez, M. A., Ammar, K., Morales-Dorantes, A., Gonzalez-Santoyo, H., Crossa, J. & Guzman, C.** (2017). Grain quality traits of commercial durum wheat varieties and their relationships with drought stress and glutenins composition. *Journal of Cereal Science*, 75, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.03.005>
- Martini, D., Taddei, F., Ciccoritti, R., Pasquini, M., Nicoletti, I., Corradini, D. & D'Egidio, M.G.** (2015). Variation of total antioxidant activity and of phenolic acid, total phenolics and yellow coloured pigments in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var durum) as a function of genotype, crop year and growing area. *Journal of Cereal Science*, 65, 175–185.
- Martinez-Pena, R., Rezzouk, F.Z., Diez-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.
- Meena M. & Samal, S.** (2019). Alternaria host-specific (HSTs) toxins: an overview of chemical characterization, target sites, regulation and their toxic effects. *Toxicology Reports*, 6, 745-758. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2019.06.021>
- Mefleh, M., Conte, P., Fadda, C., Giunta, F., Piga, A., Hassoun, G. & Motzo, R.** (2019). From ancient to old and modern durum wheat varieties: interaction among cultivar traits, management, and technological quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99, 2059-2067. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9388>
- Mohammadi, M., Mirlohi, A., Majidi, M.M., Esmailzadeh Moghaddam, M., Rabbani, F. & Noori, F.** (2021). Genetic interaction and inheritance of important traits in durum (*Triticum turgidum* ssp. durum) × emmer (*Triticum turgidum* ssp. dicoccum) crosses

- under two water regimes. *Crop and Pasture Science*, 72(11), 874–890.
<https://doi.org/10.1071/CP21118>
- Mohammadi, M. & Mohammadi, R.** (2024). Potential of tetraploid wheats in plant breeding: A review. *Plant Science*, 346, 112155.
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2024.112155>
- Mohan, B. H. & Malleshi, N. G.** (2006). Characteristics of native and enzymatically hydrolyzed common wheat (*Triticum aestivum*) and dicoccum wheat (*Triticum dicoccum*) starches. *Eur Food Res Technol.*, 223:355–361.
- Molnár-Láng, M.** (2015). The crossability of wheat with rye and other related species. In *Alien Introgression in Wheat*; Molnár-Láng, M., Ceoloni, C., Doležel, J., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, pp. 103–120.
- Mishra, P. C., Kurmwanshi, S. M. & Soni, S. N.** (1996). Evaluation of *Triticum* species under wheat improvement programme. *Journal of Soils and Crops*, 6: 200-201.
- Oktem, A. G. & Oktem, A.** (2019). Effect of Semi-arid Environmental Conditions to Quality of Durum Wheat Genotypes (*Triticum turgidum* L. var. durum). *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research*, 3(1): 1-10.
- Padalino, L., Mastromatteo, M., Lecce, L., Spinelli, S., Contò, F. & De Nobile, M.A.** (2014). Effect of durum wheat cultivars on physico-chemical and sensory properties of spaghetti. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94 (11), 2196-2204.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.6537>
- Palombieri, S., Bonarrigo, M., Cammerata, A., Quagliata, G., Astolf, S., Lafiandra, D., Sestili, F. & Masci, S.** (2023). Characterization of *Triticum turgidum* ssp. *durum*, *turanicum*, and *polonicum* grown in Central Italy in relation to technological and nutritional aspects. *Frontiers in Plant Science*, 14:1269212.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1269212>
- Petrenko, V., Spychaj, R., Prysiazniuk, O., Sheiko, T. & Khudolii, L.** (2018). Evaluation of three wheat species (*Triticum Aestivum* L., *T. Spelta* L., *T. Dicoccum* (Schrank) Schuebl) Commonly used in organic cropping systems, considering selected parameters of technological quality. *Romanian Agricultural Research*, 35, 255-264.
- Pradhan, G. P., Prasad, P. V. V., Fritz, A. K., Kirkhan, M. B. & Gill, B. S.** (2012). Response of *Aegilops* species to drought stress during reproductive stage of development. *Funct. Plant Biol.*, 39, 51–59.
- Ruan, Y., Comeau, A., Langevin, F., Hucl, P., Clarke, J.M., Brule-Babel, A. & Pozniak, C.J.** (2012). Identification of novel QTL for resistance to Fusarium head blight in a tetraploid wheat population. *Genome*, 55 (12): 853–864. DOI: 10.1139/gen-2012-0110
- Romena, M., Najaphy, A., Saeidi, M. & Khoramivafa, M.** (2022). Identification of superior wheat genotypes using multiple-trait selection methods based on agronomic characters and grain protein content under rain-fed conditions. *Genetika*, 54 (1): 15-26. <https://doi.org/10.2298/GENSR2201015R>
- Ruiz, M., Bernal, G. & Giraldo, P.** (2018). An update of low molecular weight glutenin subunits in durum wheat relevant to breeding for quality. *Journal of Cereal Science*, 83, 236-244. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.09.005>
- Ruiz, M. & Giraldo, P.** (2021). The influence of allelic variability of prolamins on gluten quality in durum wheat: An overview. *Journal of Cereal Science*, 101, 103304.
- 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.
- Simeone, R., Sciancalepore, A. & Simonetti, M.C.** (1998). Identification of powdery mildew resistance genes in tetraploid wheats. *Ewac Newsletter*, pp. 110-113.
- Sourour, A., Afef, O., Salah, B., Mounir, R. & Mongi, B. Y.** (2018). Correlation between agronomical and quality traits in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) germplasm in semi arid environment. *Adv Plants Agric Res.*, 8(6):612–615.
- Stankova, P., Rekika, D., Zaharieva, M. & Monneveux, P.** (1995). Improvement of durum wheat for multiple stress tolerance: Potential interest of *Aegilops* sp. In: *Fibre and Cereal Crops Problems. Cotton and Durum Wheat Research Institute*, Chirpan, Bulgaria, pp. 46-56.
- Suchowilska, E., Bienkowska, T., Szablewska, K.S. & Wiwart, M.** (2020). Concentrations of Phenolic Acids, Flavonoids and Carotenoids and the Antioxidant Activity of the Grain, Flour and Bran of *Triticum polonicum* as Compared with Three Cultivated Wheat Species. *Agriculture*, 10, 591. <https://doi.org/10.3390/agriculture10120591>
- Tanksley S.D. & Nelson J.C.** (1996). Advanced backcross QTL analysis: a method for the simultaneous discovery and transfer of valuable QTLs from unadapted germplasm into elite breeding lines. *Theor. Appl. Genet.*, 92, 191-203.
- Todorovska, E., Hadzhiivanova, B., Bozhanova, V., Dechev, D., Muhovski, Y., Panchev, I., Abu-Mhadi, N., Peycheva, V. & Ivanova, A.** (2013). Molecular and Phenotypic Characterization of Advanced Backcross Lines Derived from Interspecific Hybridization of Durum Wheat. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 27(3):3760-3771.
- Toti E., Chen, C.Y.O., Palmery, M., Valencia, D.V. & Peluso, I.** (2018). Non-provitamin A and provitamin A carotenoids as immunomodulators: recommended dietary allowance, therapeutic index, or personalized nutrition? *Oxid. Med. Cell. Longev.*, Article 4637861.

- doi: 10.1155/2018/4637861
- Tiwari, V. K., Rawat, N., Singh, N., Randhawa, G. S., Singh, K., Chhuneja, P., ... & Dhaliwal, H. S.** (2008). Evaluation and utilization of *Aegilops* germplasm for biofortification of wheat for high grain iron and zinc content. In: Proceedings of the 11th International Wheat Genetics Symposium, 24–29 Aug., Brisbane, Qld., Australia (R. Appels, et al., Eds.), Sydney University Press, Sydney, 305-309.
- Tran, K. D., Konvalina, P., Capouchova, I., Janovska, D., Lacko-Bartosova, M., Kopecky, M. & Tran, P. X. T.** (2020). Comparative Study on Protein Quality and Rheological Behavior of Different Wheat Species. *Agronomy*, 10(11), 1763
<https://doi.org/10.3390/agronomy10111763>
- Wang, K., Dupuis, B. & Fu, B. X.** (2017). Gluten aggregation behavior in high-shear-based glutopeak test: Impact of flour water absorption and strength. *Cereal Chemistry*, 94, 909–915.
- 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, 1308.
doi:10.3390/foods9091308
- Wang, K., Taylor, D., Chen, Y., Suchy, J. & Fu, B. X.** (2021). Effect of Kernel Size and Its Potential Interaction with Genotype on Key Quality Traits of Durum Wheat. *Foods*, 10, 2992.
<https://doi.org/10.3390/foods10122992>
- Xynias, I. N., Mylonas, I., Korpetis, E. G., Ninou, E., Tsaballa, A., Avdikos, I. D. & Mavromatis, A. G.** (2020). Durum wheat breeding in the Mediterranean region: Current status and future prospects. *Agronomy*, 10 (3), 432.
<https://doi.org/10.3390/agronomy10030432>
- Zaim, M., El Hassouni, K., Gamba, F., Filali-Maltouf, A., Belkadi, B., Sourour, A., Amri, A., Nachit, M., Taghouti, M. & Bassi, F. M.** (2017). Wide crosses of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) reveal good disease resistance, yield stability, and industrial quality across Mediterranean sites. *Field Crops Research*, 214, 219–227.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.09.007>

Received: November, 20, 2024; Approved: December, 25, 2024; Published: February, 2025