

ФЕДОРОВА В.Р.[✉], **ФАЙТ В.І.**, **ЗЕЛЕНІНА Г.А.***Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, Україна, 65036, м. Одеса, Овідіопольська дорога, 3, ORCID: 0000-0001-5251-9611, 0000-0001-9994-341X, 0000-0002-7692-4117*[✉] fedgen@ukr.net

ЗВ'ЯЗОК ЗАБАРВЛЕННЯ СТЕБЛА ТА ОСТЕЙ КОЛОСА З ГОСПОДАРСЬКО ЦІННИМИ ОЗНАКАМИ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ

Мета. Визначення селекційної цінності наявності або відсутності остюків колосу та антоціанового забарвлення стебла у рослин пшениці м'якої озимої в умовах степу Причорномор'я України. **Методи.** Вирощування рослин у польових умовах. Фенологічні спостереження, визначення маси 1000 зерен, дисперсійний аналіз та достовірність різниці за *t* – критерієм у ході попарного порівняння. **Результати.** Групи ліній із наявністю або відсутністю остюків та з антоціановим або зеленим забарвленням, а також з різним поєднанням обох фенотипових ознак істотно не розрізнялися за господарсько цінними ознаками, за одиничним винятком. Рослини з антоціановим забарвленням стебла у середньому були достовірно вищими на п'ять сантиметрів у порівнянні з такими, що мали зелене забарвлення. Серед ліній, що перевищували за урожаєм стандартні сорти Антонівка та Куяльник, представлені лінії всіх можливих поєднань забарвлення стебла та наявності або відсутності остюків. **Висновки.** Фенотипові відмінності рекомбінантних ліній за забарвленням стебла (антоціанове чи зелене) або наявністю чи відсутністю остюків, а також різні їхні поєднання достовірно не пов'язані з відмінностями генотипів за тривалістю періоду до колосіння, висотою рослин, масою 1000 зерен та урожаєм зерна.

Ключові слова: пшениця, остюки, забарвлення стебла, колосіння, висота рослин, маса 1000 зерен, урожай.

Стійкість до посухи є однією з головних ознак адаптованих до умов степу і лісостепу генотипів пшениці. У степу України різноманітні види посухи (грунтова, повітряна, комплексна) та їх різну інтенсивність можна спостерігати на будь-якому етапі органогенезу як в осінній, так і весняно-літній період вегетації озимої м'якої пшениці (*Triticum aestivum* L.) [1]. У зв'язку з глобальними змінами і зростаючою

континентальністю клімату, різкими коливаннями метеорологічних факторів необхідне подальше підсилення посухо- та жаростійкості створюваних сортів.

На адаптивні особливості пшениці та реалізацію урожаю зерна в певних умовах специфічну дію справляє морфоструктура рослини [2]. Багато морфологічних ознак рослин мають адаптивне значення і є надійними маркерами, оскільки їм притаманний чіткий фенотиповий ефект за різних умов середовища. У регіонах із посушливими умовами помічено значне збільшення частки білоколосих та остистих генотипів [3]. Остисті генотипи превалюють серед сортів пшениці Австралії, Південної та Центральної Америки, США [4]. В умовах Північної і Центральної Європи, навпаки, більше поширені безості генотипи [4; 5]. У структурі сортів СГП-НЦНС, рекомендованих для вирощування в степу та лісостепу України, 93% мають білий остистий колос (54 із них різновиду *erythrospermum*). І лише чотири або 7% – безості сорти (різновид *lutescens*) [6].

У пшениці відомо три домінуючі неалельні гени, що інгібують розвиток остюків, *B1*, *B2* і *Hd*, які розташовані в хромосомах 5AL, 6BL і 4BS відповідно [7]. Домінуючий алель гена *B1* – найбільш поширений інгібітор остюків у пшениці [8].

З'ясовано, що наявність остюків підвищує стабільність зернової продуктивності за рахунок підвищення адаптивності до несприятливих кліматичних факторів [9]. Частка остюків у формуванні урожаю залежить від генетичних особливостей сорту та умов року вирощування. В умовах посухи роль остюків у забезпеченні колоса продуктами фотосинтезу значно зростає [10]. Крім того, вони відіграють важливу роль у процесах фотосинтезу та дихання рослин. За відсутності прапорцевого листка помічається зниження продуктивності колоса тільки у безостих генотипів за рахунок зменшення маси 1000 зерен [11].

© **ФЕДОРОВА В.Р., ФАЙТ В.І., ЗЕЛЕНІНА Г.А.**

Інтерес дослідників до систем генів біосинтезу антоціанів зумовлений яскраво вираженими антиоксидантними властивостями цих сполук, що сприяють стійкості рослин до широкого спектра біотичних та абіотичних стресових факторів [12]. Гени *Pc-1*, що визначають антоціанове забарвлення стебла, локалізовані у короткому плечі кожної з хромосом 7-ї гомеологічної групи [13]. Відомо, що генотипам м'якої пшениці з інтенсивним антоціановим забарвленням стебла притаманна стійкість до твердої і летючої сажки та підвищена зимостійкість. Ізогенні лінії з морфологічним маркером гена *Pc* характеризуються значно вищими показниками продуктивності колоса та масою 1000 зерен [13]. Антоціанове забарвлення використовують у якості морфологічного маркера конкретних хромосом під час інтрогресивної гібридизації [14] та ідентифікації моносомних рослин за фенотипом [15].

Метою нашої роботи є визначення селекційної цінності наявності або відсутності остюків колоса та антоціанового забарвлення стебла у рослин пшениці м'якої озимої в умовах степу Причорномор'я України.

Матеріали і методи

У якості вихідного матеріалу використовували 54 гомозиготні рекомбінантні лінії (РЛ) F_7 від складного схрещування стародавніх сортів різного екологічного походження [F_1 (Чайка/Cappelle Despres)/Харківська 81]/Обрій, що різняться за наявністю/відсутністю остюків та антоціанового забарвлення стебла, а також два стандартні сорти Антонівка і Куяльник (остисті, без антоціанового забарвлення стебла).

Кожна лінія F_7 є нащадком окремої індивідуальної рослини F_2 з послідовним самозапиленням у наступних поколіннях F_{3-6} . Серед вивчених ліній 27 характеризувалися наявністю антоціанового забарвлення стебла, 27 – без такого (зелене забарвлення стебла). Водночас 24 лінії виявилися остистими та 30 безостими.

Насіння ліній, що вивчали, сіяли восени 2017 року (10 жовтня) на ділянках 3 м^2 по 500 схожих зерен на м^2 . Під час вегетації відзначали дату колосіння за наявності на ділянці 75% рослин, що колосилися. У якості дати відліку тривалості періоду до колосіння використовували календарну дату 1 травня. Під час жнив вимірювали висоту рослин та визначали урожай зерна з ділянки. Після збирання урожаю в лабораторних умовах визначали масу 1000 зерен.

Статистичну обробку даних проводили за загальновідомими методиками [17].

Результати та обговорення

Колосіння рекомбінантних ліній помічали в період від 2 до 11 травня, тобто розмах варіювання ліній за тривалістю періоду до колосіння (ТПК) дорівнював 10 діб (табл. 1). Висота рослин (ВР) ліній у середньому складала $80 \pm 1,2$ см. При цьому висота більш низькостеблових ліній дорівнювала 57, а більш високостеблових досягала 101 см. Середня маса 1000 зерен (МТЗ) у популяції ліній складала 37,5 г, що істотно не відрізняється від аналогічної величини стандартного сорту Куяльник (37,3 г), але суттєво менше такої сорту Антонівка (42,0 г). Разом з тим розмах варіювання ліній за окресленою ознакою складав 13,7 г від 29,8 до 43,5 г. Урожай зерна (УЗ) більш продуктивних ліній перевищував такий у менш продуктивних більш ніж у три рази ($0,599$ і $0,191 \text{ кг/м}^2$ відповідно). При цьому маса 1000 зерен і висота рослин варіювали слабко (7,9 та 10,8% відповідно), а урожай зерна та особливо тривалість періоду до колосіння – в значній мірі (22,4 та 32,8% відповідно).

Порівняння двох рядів таких генотипів з антоціановим і зеленим забарвленням стебла дозволяє зробити висновок про суттєвий вплив названих фенотипових відмінностей на ВР ($t_{\text{фактичне}}=2,20$ за $t_{0,05}=2,06$). Рослини з антоціановим забарвленням стебла у середньому були достовірно вищими на п'ять сантиметрів у порівнянні з такими, що не мали забарвлення (таблиця 2). При цьому розмах варіювання ознаки у першій групі складав 67–101 см, а у другій – 57–95 см. За іншими трьома ознаками ТПК, МТЗ і УЗ не виявили достовірних відмінностей між групами ліній із наявністю або відсутністю антоціанового забарвлення. Можна відзначити лише тенденцію більшої скоростиглості на 1 добу і МТЗ на 0,5 г та зниження УЗ на $0,015 \text{ кг/м}^2$ у ліній з антоціановим забарвленням стебла в порівнянні з аналогічними із зеленим забарвленням стебла.

Наявність або відсутність остюків також достовірно не впливала на відмінності ліній за чотирма вивченими ознаками. Остисті генотипи характеризувалися несуттєвими скороченням ТПК на 0,4 доби, зниженням ВР на 2 см і збільшенням урожаю зерна на $0,021 \text{ кг/м}^2$ порівняно з безостими генотипами за майже однакових значень МТЗ.

Таблиця 1. Статистичні показники господарсько цінних ознак популяції РЛ F₇ [F₁(Чайка/Carpelle Despress)/Харківська 81]/Обрій

Ознака	$\bar{x} \pm S\bar{x}^*$	min	max	σ	CV
ТПК, діб	6,1±0,27	2	11	2,0	32,8
ВР, см	80±1,2	57	101	8,7	10,8
МТЗ, г	37,5±0,44	29,8	43,5	3,0	7,9
УЗ, кг/м ²	0,410±0,0125	0,191	0,599	274,8	22,4

Примітки: $\bar{x} \pm S\bar{x}^*$ – середнє значення ознаки ± стандартна похибка, min – мінімальне значення ознаки, max – максимальне значення ознаки, σ – стандартне відхилення, CV – коефіцієнт варіації; ТПК – тривалість періоду до колосіння (відлік від 1 травня), ВР – висота рослини, МТЗ – маса 1000 зерен, УЗ – урожай зерна.

Таблиця 2. Середні значення господарсько цінних ознак груп ліній з наявністю або відсутністю остюків і зеленим або антоціановим забарвленням стебла, а також груп ліній із різними поєднаннями названих двох ознак

Ознака	n	ТПК, діб	ВР, см	МТЗ, г	УЗ, кг/м ²
Зелене забарвлення	27	6,6±0,41 (3-11)	78±1,7 (57-95)	37,3±0,67 (29,8-43,5)	0,417±0,0183 (0,191-0,566)
Антоціанове забарвлення	27	5,6±0,33 (2-10)	83±1,6 (67-101)	37,8±0,46 (34,6-41,6)	0,402±0,0172 (0,198-0,599)
$t_{\text{фактичне}}^*$		1,98	2,20	0,11	0,67
Наявність остюків	24	5,9±0,46 (2-10)	79±1,8 (57-94)	37,6±0,70 (31,9-43,5)	0,419±0,0175 (0,191-0,599)
Відсутність остюків	30	6,3±0,32 (3-11)	81±1,6 (68-101)	37,5±0,57 (29,8-43,1)	0,398±0,0169 (0,241-0,573)
$t_{\text{фактичне}}^{**}$		0,41	0,30	0,03	0,68
Антоціанове забарвлення, відсутність остюків	14	5,7	85	37,4	0,413
Зелене забарвлення, відсутність остюків	16	6,8	78	37,5	0,423
Антоціанове забарвлення, наявність остюків	13	5,5	81	38,6	0,392
Зелене забарвлення, наявність остюків	11	6,5	77	37,0	0,409
$F_{\text{фактичне}}^1$		1,31	2,01	0,30	0,28

Примітки: ТПК – тривалість періоду до колосіння, ВР – висота рослин, МТЗ – маса 1000 зерен, УЗ – урожай зерна; * - $t_{0,05} = 2,06$; ** - $t_{0,05} = 2,07$; ¹ - $F_{0,05} = 2,79$.

Різні поєднання двох фенотипових ознак також достовірно не впливали на вивчені ознаки, що було очікуваним, виходячи з результатів вивчення впливу відмінностей кожної з морфологічних ознак окремо. Найбільш продуктивними були безості лінії із зеленим забарвленням стебла (0,423 кг/м²), а найменш – лінії з альтернативним поєднанням ознак – остисті з антоціановим забарвленням стебла (0,389 кг/м²). Водночас 12 ліній перевищували за урожаєм контрольний сорт Антонівка (0,465 кг/м²) на 0,018 – 0,135 кг/м², а чотири лінії – контрольний сорт Куяльник (0,546 кг/м²) на 0,020 – 0,054 кг/м². В обох випадках серед найбільш продуктивних

генотипів є лінії з різним поєднанням фенотипового прояву вивчених двох морфологічних ознак, але частка безостих ліній із зеленим забарвленням стебла була більшою.

Висновки

Фенотипові відмінності рекомбінантних ліній F₇ [F₁ (Чайка/Carpelle Despress)/ Харківська 81]/Обрій за забарвленням стебла (антоціанове або зелене), а також наявністю або відсутністю остюків і різні їхні поєднання достовірно не впливають на відмінності генотипів за тривалістю періоду до колосіння, висотою рослин, масою 1000 зерен та урожаєм зерна.

References

1. Lytvynenko M. A. 100-year history of the development of winter bread wheat breeding programs. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2016. № 2. P. 75–82. [in Ukrainian]
2. Moskalets T. Z., Rybalchenko V. K. Morpho-physiological and molecular genetic features of *Triticum aestivum* L. xeromorphy. *Biologicalsystems*. 2015. Vol. 7, Is. 1. P. 45–52. [in Ukrainian]
3. Martynov S.P., Dobrotvorskaya T.V. Genealogical and statistical analysis of the genetic diversity with the aid the genetic resources information and analytical system GRIS for wheat Proceedings on applied botany, genetics and breeding. Vol. 169. SPb: VIR, 2012. P. 193–209. [in Russian]
4. Rebetzke G.J., Jimenez-Berni J.A., Bovill W.D., Deery D.M., James R.A. High-throughput phenotyping technologies allow accurate selection of stay-green. *J. Exp. Bot.* 2016. Vol. 67 (17). P. 4919–4924. doi: 10.1093/jxb/erw301.
5. Börner A., Schäfer M., Schmidt A., Grau M., Vorwald J. Associations between geographical origin and morphological characters in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Genet. Resour.* 2005. Vol. 3, Is. 3. P. 360–372. doi: 10.1079/PGR200589.
6. Katalog sortiv ta gibridiv Seleksiyno-genetichnogo Institutu – Natsionalnogo tsentru nasinneznavstva ta sortovivchennya. Odesa: Astroprint, 2021. 184 c. [in Ukrainian]
7. Yoshioka M., Iehisa J. C.M., Ohno R., Kimura T., Enoki H., Nishimura S., Nasuda S., Takumi S. Three dominant awnless genes in common wheat: Fine mapping, interaction and contribution to diversity in awn shape and length. *PLoSOne*. 2017. 12 (4). e0176148. doi: 10.1371/journal.pone.0176148.
8. Huang D., Zheng Q., Melchhart T., Bekkaoui Y., Konkin D.J.F., Kagale S., Martucci M., You F.M., Clarke M., Adamski N.M., Chinoy C., Steed A., McCartney C.A., Cutler A.J., Nicholson P., Feurtado J.A. Dominant inhibition of awn development by a putative zinc-finger transcriptional repressor expressed at the B1 locus in wheat. *NewPhytol.* 2020. Vol. 225. P. 340–355. doi: 10.1111/nph.16154.
9. Tyunin V.A. Breeding value of the awn of the ear of bread spring wheat in the South Urals. *Izvestia Orenburg state agrarian university*. 2004. № 3. P. 50–52. [in Russian]
10. Sidorov A.V., Plekhanova L.V. The awn role in yield formation and spring wheat grain quality. *Bulliten KrasSAU*. 2013. № 9. P. 99–102. [in Russian]
11. Goleva G.G., Vashchenko T.G., Kryukova T.I., Golev A.D. Flag leaves' role in the formation of plant productivity of winter soft wheat (*Triticum aestivum* L.). *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016. № 2 (49). P. 31–42. [in Russian]
12. Gould K.S. Nature's swiss army knife: the diverse protective roles of anthocyanins in leaves. *J. Biomed. Biotech.* 2004. Vol. 5. P. 314–320. doi: 10.1155/S1110724304406147.
13. Khlestkina E.K. Genes determining coloration of different organs in wheat. *Vavilov journal of genetics and breeding*. 2012. Vol. 16, № 1. P. 202–216. [in Russian]
14. Shulembaeva K.K., ChUNETOVA Zh.Zh., DAULETBAEVA S.B., TOKUBAEVA A.A. Some results of work on production of isogenic lines, mutants and distant hybrids in wheat. *KazNU Bulletin. Ecology series*. 2014. № 1/2. P. 375–379. [in Russian]
15. Iefimenko T.S., Antonyuk M.Z., Martynenko V.S., Navalihina A.G., Ternovska T.K. Introgression of *Aegilops mutica* genes into common wheat genome. *Cytol Genet.*, 2018. Vol. 52, № 1. P. 21–30. doi: 10.3103/S0095452718010048.
16. Shulembayeva K.K., DAULETBAEVA S.B. Investigation of economically important traits in isogenic lines of bread wheat. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2009. Vol. 166. P. 316–320. [in Russian]
17. Rokitskii P.F. Biological Statistics. Minsk: Vysheishaya Shkola, 1973. 327 p. [in Russian]

FEDOROVA V.R., FAIT V.I., ZELENINA H.A.

Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation, Ukraine, 65036, Odesa, Ovidiopska road, 3

RELATIONSHIP BETWEEN THE STEM COLOR AND THE EAR SPINES PRESENCE WITH ECONOMICALLY VALUABLE TRAITS OF BREAD WINTER WHEAT

Aim. Determination of the breeding value of the presence or absence of ear spines and anthocyanin stem color in bread winter wheat plants in the steppes of the Black Sea coast of Ukraine. **Methods.** Growing plants in the field. Phenological observations, weight of 1000 grains, analysis of variance and statistical significantly of the difference by t - criterion in pairwise comparison. **Results.** Groups of lines with the presence or absence of ear spines and with anthocyanin or green color, as well as with different combinations of both phenotypic traits did not differ significantly in economically valuable traits, with one exception. Plants with anthocyanin-colored stems were, on average, statistical significantly five centimeters taller than those with green color. Among the lines that exceeded the standard varieties Antonivka and Kuiu-alyk, in terms of yield, there are lines of all possible combinations of stem color and the presence or absence of spines. **Conclusions.** The phenotypic differences of recombinant lines in stem color (anthocyanin or green) or the presence or absence of spines, as well as their various combinations, are not significantly related to differences in genotypes before earing period, plant height, 1000 grain weight and grain yield.

Keywords: wheat, spines, stem color, earing, plant height, weight of 1000 grains, harvest.