

ПРОЯВ ВИСОТИ РОСЛИН У СИНТЕТИЧНИХ ПОПУЛЯЦІЯХ ЖИТА ОЗИМОГО В УМОВАХ ПІВНІЧНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Буняк Олександр Іванович

кандидат сільськогосподарських наук

Носівська селекційно-дослідна станція Миронівського інституту пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України, с. Дослідне, Україна

ORCID: 0000-0003-4979-9645

bunuak@gmail.com

Шовкун Сергій Васильович

науковий співробітник

Носівська селекційно-дослідна станція Миронівського інституту пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України, с. Дослідне, Україна

ORCID: 0009-0003-0895-0975

Serega.shovkyn@gmail.com

Провели вивчення генетико-статистичних параметрів за висотою рослин у синтетичних популяцій жита озимого різного генетичного походження, які створені на основі донорів короткостебловості з домінантною спадковістю. Визначали інтенсивність добору (S_d), результат добору (RF). Коефіцієнт успадкування в широкому (H^2) розумінні визначали як відношення генотипової до фенотипової дисперсії, коефіцієнт успадкування у вузькому розумінні (h^2) визначали як подвоєний коефіцієнт кореляції між фенотипами батьків та нащадків. Розраховували коефіцієнт регресії (b_i) і середньоквадратичне відхилення від регресії ($S^2_{d_i}$), гомеостатичність (Hom) і селекційну цінність (Sc) генотипів жита озимого.

Вивчали шістнадцять синтетичних популяцій та порівнювали їх з п'ятьма сортами-синтетиками жита озимого: Синтетик 38, Амей, Верша, Жатва та Кобза. Метою досліджень було визначити особливості прояву довжини стебла жита озимого залежно від умов середовища та інтенсивності добору на короткостебловість у генотипово різних популяцій для вдосконалення ознаки. У 2021–2023 рр. проаналізували, сформували методом індивідуально-родинного добору (кращі рослини з поєднанням короткого стебла (≤ 120 см), крупності зерна ($\geq 5,0$ г) та інших ознак продуктивності), шістнадцять синтетичних популяцій (F_3-F_5). Встановили істотний вплив на формування висоти рослин жита озимого погодних умов року та генотипу. Визначили незначне варіювання за висотою рослин у всіх популяцій та сортів-синтетиків жита озимого (5,4 %–13,9 %). Сильно реагували на зміну умов середовища сім популяцій (I-1, I-4, I-5, I-7, I-8, I-15 та сорт-синтетик Амей) $b_i=1,11-1,75$. Слабку реакцію, за довжиною стебла, на зміну умов вирощування відмітили у популяції I-2, I-6, I-9, I-10, I-12, I-13, I-14, I-16 та сортів-синтетиків Жатва і Кобза ($b_i=0,50-0,94$). Кращі за селекційною цінністю та гомеостатичністю визначили популяції I-2 ($Hom = 2236,4$; $Sc = 110,2$), I-6 ($Hom = 2216,9$; $Sc = 109,9$) та сорт-синтетик Жатва ($Hom = 2169,8$, $Sc = 113,4$). Селекційний диференціал (S_d) у 2020 р. за висотою рослин у різних популяцій змінювався від -1,8 до -19,2 см, у 2021 р. від +3,2 до -10,3 см, у 2022 р. від -2,2 до -18,6 см. В середньому за три роки селекційний диференціал на зниження висоти рослин у популяції варіював від -2,27 до -11,53 см. За три роки спрямованого добору короткостеблових рослин в поєднанні з їх високою продуктивністю вдалося знизити довжину стебла у популяції від 1,93 до 6,23 %. Виділили короткостеблову популяцію I-9 ($\bar{X} = 113,0$ см) з високою стабільністю та слабкою реакцією на зміну умов середовища прояву довжини стебла ($b_i = 0,70$, $S^2_{d_i} = 1,8$). Встановлено, переважаючу дію генів з адитивним ефектом на загальну мінливість висоти рослин у досліджуваних популяціях.

Ключові слова: жито озиме, селекція, успадкування, висота рослин, синтетичні популяції.

DOI <https://doi.org/10.32782/agrobio.2024.2.2>

Вступ. Жито посівне (*Secale cereale* L.) – багатопільова культура в країнах Європи, яке використовують для виробництва зерна (харчові продукти, корм, біоенергетика) (Brzozowski et al., 2023), а також вирощують на зелену масу як кормову або покривну культуру (Miedaner et al., 2012). Значною перевагою жита порівняно з іншими зерновими культурами є його переважна стійкість до абіотичних та біотичних стресів (Korzun et al., 2001; Rakoczy-Trojanowska et al., 2021), що робить його основною культурою в Північній Європі (Korzun et al., 2001). Жито використовувалося як джерело для підвищення стійкості пшениці до патогенів і шкідників протя-

гом більш ніж 50 років (Crespo-Herrera et al., 2017). Жито багате на мінерали (Zn, Fe, P), бета-глюкани, крохмаль і біоактивні речовини (Andersson et al., 2009).

Завдяки досягненням в гетерозисній селекції (Наскауф et al., 2022) більшість посівів диплоїдного жита озимого в країнах Європи так і в Україні це гібриди та сорти-синтетики з високими урожайністю та якістю зерна (Bundessortenamt, 2023; Information and search system "Register of varieties", 2024). Так, наприклад, урожайність зерна гібридів і сортів-популяцій в офіційному сортопробуванні Німеччини за період у 26 років зросла на 23,3 і 18,1% відповідно (Laidig et al., 2017). Серед основних

цінних господарських ознак для селекції жита, головною з яких є урожайність зерна, виділяють зокрема і стійкість до вилягання та висоту рослин (Brzozowski et al., 2023; Niedziela & Bednarek, 2023). Так комплексне вивчення 526 генетично відмітних гібридів у 19 середовищах виявило фенотипову пластичність висоти рослин та кількості продуктивних стебел як реакцію на стрес від посухи, що забезпечує стабільність урожайності жита (Siekmann et al., 2021).

Порівнюючи з іншими зерновими (пшениця, ячмінь), дослідники (Miedaner et al., 2012) вказують що в житі стебло використовується як резервуар для води та вуглеводів за абіотичного стресу. Також вони відмічають істотну кореляцію між висотою рослин та врожайністю ($r = 0,30$, $P < 0,01$), з масою 1000 зерен і вмістом крохмалю ($r = 0,5$; $r = -/+0,3$, $P < 0,01$). Висота рослин є зручною кількісною ознакою для морфологічної оцінки та генетичного аналізу, оскільки вирізняється слабкою внутрішньо-сортовою мінливістю та виявляє значну варіацію фенотипового прояву (Zohary & Nopf, 2000; Olkhovuk, 2023; Rysin & Volohdina, 2023).

Тому метою досліджень було визначити особливості прояву довжини стебла жита озимого залежно від умов середовища та інтенсивності добору на короткостебловість у генотипово різних популяцій для вдосконалення ознаки.

Матеріали і методи досліджень. До вивчення залучили новий вихідний матеріал, а саме популяції та лінії жита озимого які є носієм гена домінантної короткостебловості *HNH* (Skoryk, 2013). Вивчали шістнадцять синтетичних популяцій та порівнювали їх з п'ятьма сортами-синтетиками жита озимого: Синтетик 38, Амей, Верша, Жатва та Кобза які зареєстровані у Реєстрі сортів рослин придатних для поширення в Україні (Information and search system "Register of varieties", 2024). У 2021–2023 рр. проаналізували, сформували методом індивідуально-родинного добору та висіяли синтетичні популяції (F_3-F_9) на ділянках розміром 4,5 x 4 м, в посівах пшениці озимої із забезпеченням просторової ізоляції. Ділянки висівали сівалкою СКС-6-10, площа живлення рослин 5 x 30 см. До цвітіння проводили браковки з видаленням рослин які не відповідали запланованим параметрам. Для структурного аналізу та визначення основних цінних господарських ознак з кожної синтетичної популяції відбирали шістдесят елітних рослин. Після аналізу, з загальної кількості проаналізованих рослин, добирали кращі рослини з поєднанням короткого стебла (≤ 120 см), крупності зерна ($\geq 5,0$ г) та інших ознак продуктивності, які ставали основою для закладання наступної генерації синтетичної популяції.

Визначали генетико-статистичні параметри за висотою рослин у синтетичних популяцій жита озимого різного генетичного походження. Спорідненість варіювання ознак визначали за коефіцієнтом кореляції. Кореляції між ознаками в одному поколінні визначали як фенотипові (r_p), між батьками і нащадками – як генотипові адитивні кореляції (r_g). Інтенсивність добору визначали за допомогою селекційного диференціалу (S_d), який є різницею між фенотиповою середньою висотою батьківського

покоління до добору (\bar{X}_0) і середньою відібраною групи рослин (\bar{X}_1) ($S_d = \bar{X}_0 - \bar{X}_1$). Зрушення при доборі (RF) визначали як різницю між фенотиповою середньою висотою нащадків (y_1) і фенотиповою середньою висотою батьківського покоління до добору (\bar{X}_0) ($RF = y_1 - \bar{X}_0$) (Litun, 2009). Коефіцієнт успадкування в широкому (H^2) розумінні визначали як відношення генотипової до фенотипової дисперсії, коефіцієнт успадкування у вузькому розумінні (h^2) визначали як подвоєний коефіцієнт кореляції між фенотипами батьків та нащадків (Wright, 1921). Також розраховували наступні показники: коефіцієнт регресії (b) і середньоквадратичне відхилення від регресії (S_{di}^2) (Eberhart & Russel, 1966) гомеостатичність (Hom) і селекційна цінність (Sc) (Khanhyldyn & Lytvynenko, 1981). Статистичну обробку результатів дослідження проведено в редакторі Microsoft Excel 2016.

Погодні умови в 2021–2023 рр. в період вегетації жита озимого були істотно відмітними (Рис. 1, Рис. 2).

Квітень–травень 2021 року відзначався високим показником гідротермічного коефіцієнту (ГТК = 2,27 та 1,37 відповідно), у червні та липні відмічали недостатню кількість опадів на фоні підвищених температур (ГТК = 0,85 та 0,90 відповідно). В умовах 2022 р. відзначали м'яку зиму з невисокими негативними середньомісячними температурами (січень – $-2,2$ °C, лютий – $+0,2$ °C). Забезпечення атмосферними опадами впродовж 2022 року було нерівномірним, гідротермічний коефіцієнт становив: квітень – 3,44, червень – 1,34, липень – 1,22. Нижчим показником ГТК відзначався травень 2022 року – 0,80, однак потрібно відзначити рівномірність та інтенсивність опадів у другій та третій декаді квітня, що дозволили акумулювати вологу до третьої декади травня – коли пішли інтенсивні дощі.

У 2023 р., як і в 2022 р., відмічаємо досить теплу зиму (січень $-0,9$ °C, лютий $-1,3$ °C), яка перейшла в аномально теплу весну (березень $+4,2$ °C, квітень $+9,7$ °C). Гідротермічний коефіцієнт в 2023 року був нерівномірним, квітень – 1,84, травень – 0,01 та червень – 0,72. Тобто в періоди найбільш інтенсивного водопоглинання рослини жита озимого відчували гострий дефіцит вологи. Отже, умови років в яких проводили дослідження відзначили сильною контрастністю за температурним режимом та доступністю вологи, що вплинуло на прояв висоти рослин селекційного матеріалу жита озимого.

Результати. За результатами статистичного аналізу прояву висоти рослин у синтетичних популяцій та сортів встановлено, що коефіцієнт варіювання знаходився у межах 5,4–13,9 % (табл. 1). Найнижчим варіюванням відзначалися популяції (I-2, I-6, I-9) та сорт-синтетик Жатва ($V=5,4-5,9$ %). За індексом умов середовища (9,14), найсприятливіші умови для формування довгого стебла спостерігали в 2022 р. ($\bar{X}=127,4$ см). Низький середній показник висоти стебла у всіх зразків визначили в умовах 2023 р. ($\bar{X}=109,4$ см). Середнє значення у всіх зразків за три роки ($\bar{X}=118,3$ см) було майже ідентичним середньому показнику в 2021 р. ($\bar{X}=118,1$ см).

Варіювання середніх арифметичних довжини стебла різних генотипів жита озимого в селекційному розсаднику було в межах 103,3–134,3 см у 2021 р., 114,2–136,8 см

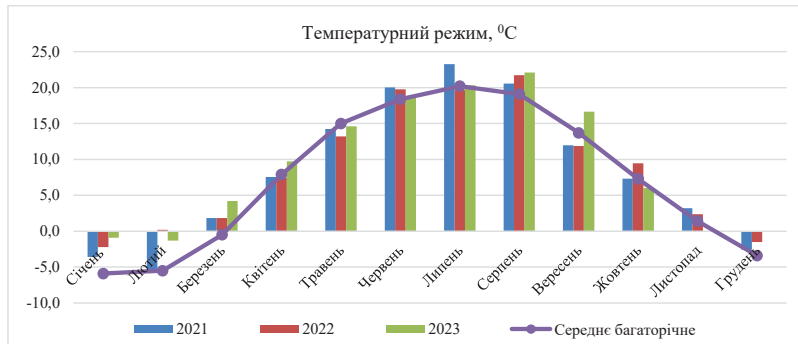


Рис. 1. Середньомісячні показники температури повітря у роки досліджень (2021–2023 рр.)

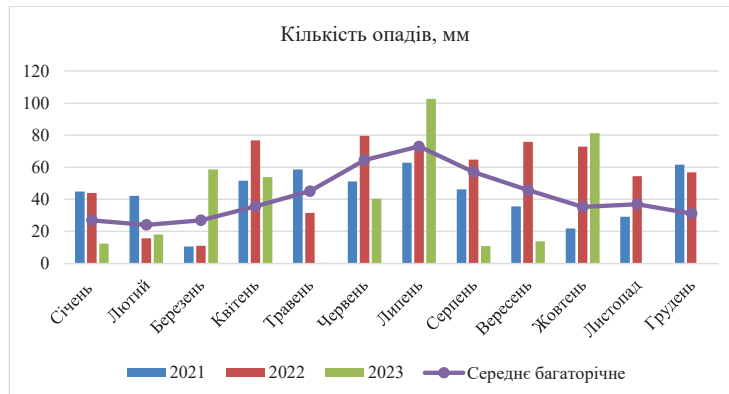


Рис. 2. Кількість опадів у роки досліджень (2021–2023 рр.)

у 2022 р. та 99,3–120,3 см у 2023 р. Нижчі, середні за три роки, величини довжини стебла відмічали у популяції I-11 – 109,3 см, I-13 – 108,3 см та I-14 – 109,6 см. Інші популяції та сорти синтетик виявили середні ліміти за висотою рослин за три роки від 113,0 до 127,5 см. Пластичність прояву висоти рослин у популяції визначена за коефіцієнтом регресії b_i . Сильно реагували на зміну умов середовища сім популяцій (I-1, I-4, I-5, I-7, I-8, I-15 та сорт-синтетик Амей) $b_i=1,11-1,75$. Слабку реакцію, за довжиною стебла, на зміну умов вирощування відмітили у популяції I-2, I-6, I-9, I-10, I-12, I-13, I-14, I-16 та сортів-синтетиків Жатва і Кобза ($b_i=0,50-0,94$). Стабільність прояву висоти рослин, розрахована за коефіцієнтом S_i^2 , визначено у популяції I-3, I-4, I-9, I-11, I-15 та сорту-синтетика Синтетик 38. Отже, можна виділити популяцію I-9 ($\bar{X}=113,0$ см), яка за висотою рослин слабо реагувала на зміну умов середовища та виявляла відносно високий показник стабільності за досліджуваною ознакою ($b_i=0,70$, $S_i^2=1,8$).

Провели аналіз параметрів селекційної цінності (Sc) та гомеостатичності (Hom) генотипів. Дослідники зауважують, що їх високий рівень вказує на стабільність та значущість вихідного матеріалу за проявом досліджуваних ознак у різних умовах протягом вегетації (Demuydov et al., 2019).

Найвищими показниками селекційної цінності та гомеостатичності серед досліджуваних популяцій вирізнялися I-2 ($Hom=2236,4$; $Sc=110,2$), I-6 ($Hom=2216,9$; $Sc=109,9$) та сорт-синтетик Жатва ($Hom=2169,8$,

$Sc=113,4$). Відмітимо також популяцію I-9, яка сполучала короткостебловість з високими параметрами гомеостатичності та селекційної цінності ($Hom=1995,4$; $Sc=100,9$).

Потрібно зауважити, що не лише умови середовища впливали на прояв висоти рослин а також добром здійснювали спрямований тиск на зниження довжини стебла у популяції (табл. 2).

Тиск спрямованого добору на зниження висоти у синтетичних популяцій передбачав вибракування до цвітіння високорослих рослин та створення вихідного матеріалу жита озимого з вирівняним коротким стеблом в поєднанні з ознаками що формують продуктивність. Селекційний диференціал (Sd) у 2020 р. за висотою рослин у різних популяції змінювався від -1,8 до -19,2 см, у 2021 р. від +3,2 до -10,3 см, у 2022 р. від -2,2 до -18,6 см. В середньому за три роки селекційний диференціал на зниження висоти рослин у популяції варіював від -2,27 до -11,53 см. Найбільш інтенсивний тиск на зниження висоти рослин здійснювали у популяції I-8 ($Sd=-11,53$), I-5 та I-7 ($Sd=-7,93$). Значно менший тиск добром на пониження довжини стебла здійснювали у популяції I-9 ($Sd=-2,27$) та I-13 ($Sd=-2,67$). На фоні від'ємного показника індексу середовища (-0,24) реалізована ефективність добору (RF) за висотою рослин у популяції в умовах 2021 року визначена високою, яка перевищувала показник селекційного диференціалу у десяти популяції. У восьми популяції відповідь на добір була в межах прогнозованого ефекту добору. Нижчу ефектив-

Таблиця 1

Параметри висоти рослин у популяції та сортів-синтетиків жита озимого

Сорти / популяції	Роки			Статистичні параметри						
	2021	2022	2023	\bar{X}	b_1	S^2	Norm	Sc	σ	V, %
	I-1	116,2	135,6	112,0	121,3	1,32	34,3	1169,5	100,2	12,6
I-2	118,7	129,3	117,0	121,7	0,68	11,5	2236,4	110,2	6,6	5,4
I-3	121,9	130,6	112,6	121,7	1,00	0,3	1642,2	104,9	9,0	7,4
I-4	119,9	130,2	110,2	120,1	1,11	0,0	1439,5	101,6	10,0	8,3
I-5	124,2	127,9	103,9	118,7	1,32	51,5	1089,9	96,4	12,9	10,9
I-6	118,5	129,1	116,8	121,4	0,69	11,7	2216,9	109,9	6,7	5,5
I-7	124,5	132,2	105,2	120,6	1,49	26,6	1045,3	95,9	13,9	11,5
I-8	127,4	131,8	103,3	120,8	1,57	72,8	950,3	94,7	15,4	12,7
I-9	113,9	118,8	106,1	113,0	0,70	1,8	1995,4	100,9	6,4	5,7
I-10	109,3	125,9	109,1	114,8	0,94	41,4	1365,0	99,5	9,7	8,4
I-11	110,6	119,0	99,3	109,6	1,09	2,2	1218,6	91,5	9,9	9,0
I-12	115,8	125,5	110,7	117,3	0,82	2,7	1832,1	103,5	7,5	6,4
I-13	104,8	115,8	104,3	108,3	0,65	16,7	1801,0	97,5	6,5	6,0
I-14	103,3	117,3	108,3	109,6	0,51	57,5	1696,7	96,6	7,1	6,5
I-15	111,5	123,4	100,5	111,8	1,27	0,0	1092,7	91,1	11,4	10,2
I-16	107,5	124,9	109,2	113,9	0,89	57,2	1345,1	97,9	9,6	8,5
Синтетик 38	124,7	136,8	117,9	126,5	1,05	3,6	1668,2	108,9	9,6	7,6
Амей	121,6	131,4	99,6	117,5	1,75	30,8	847,2	89,1	16,3	13,9
Верша	122,8	138,1	120,3	127,1	1,00	24,0	1670,4	110,6	9,7	7,6
Жатва	134,3	128,7	119,5	127,5	0,50	72,0	2169,8	113,4	7,5	5,9
Кобза	127,7	123,7	111,5	120,9	0,66	71,1	1737,5	105,6	8,4	7,0
Середнє за рік	118,1	127,4	109,4	118,3	-	-	-	-	-	-
НІР _{0,5}	2,8	4,6	3,4	3,5	-	-	-	-	-	-
Індекс середовища	-0,24	9,14	-8,90	-	-	-	-	-	-	-

Результати прямого добору за довжиною стебла у популяції жита озимого

Популяції	Селекційний диференціал Sd, см		Результат добору (RF)				Коефіцієнт успадкування	
	\bar{X}	Lim	см		%		H ²	h ²
			\bar{X}	Lim	\bar{X}	Lim		
I-1	-6,87	-10,4...-1,2	-6,77	-23,5...+19,4	-4,30	-17,4...+16,7	0,77	0,65
I-2	-4,63	-5,8...-3,4	-2,77	-12,2...+10,5	-1,93	-9,5...+8,9	0,79	0,72
I-3	-7,23	-9,8...-5,1	-6,13	-18,0...+8,7	-4,50	-13,8...+7,2	0,80	0,71
I-4	-6,87	-9,0...-3,4	-6,77	-20,0...+10,3	-5,00	-15,4...+8,6	0,75	0,63
I-5	-7,93	-9,2...-7,0	-7,87	-24,0...+3,7	-6,13	-18,8...+3,0	0,95	0,79
I-6	-6,27	-8,6...-3,5	-3,27	-12,3...+10,6	-2,33	-9,5...+8,9	0,68	0,57
I-7	-7,93	-11,1...-5,8	-7,07	-27,0...+7,7	-5,23	-20,4...+6,2	0,80	0,72
I-8	-11,53	-18,6...-5,7	-8,23	-28,5...+4,4	-6,23	-21,6...+3,4	0,62	0,51
I-9	-2,27	-3,9...-1,1	-4,40	-12,7...+4,9	-3,67	-10,7...+4,3	0,56	0,52
I-10	-6,13	-11,0...+0,3	-3,53	-16,8...+16,6	-2,30	-13,4...+15,2	0,70	0,60
I-11	-3,23	-5,6...+0,1	-9,23	-19,7...+8,4	-7,27	-16,5...+7,6	0,61	0,56
I-12	-7,43	-11,0...-2,3	-2,73	-14,8...+9,7	-2,00	-11,8...+8,4	0,75	0,66
I-13	-2,67	-4,1...-1,5	-5,30	-15,4...+11,0	-4,10	-12,8...+10,5	0,68	0,57
I-14	-6,07	-19,2...+3,2	-3,97	-16,9...+14,0	-2,73	-14,0...+13,5	0,68	0,44
I-15	-6,33	-10,2...+0,2	-7,97	-22,9...+11,9	-6,07	-18,5...+10,7	0,76	0,40
I-16	-5,77	-10,9...+1,7	-5,23	-17,4...+17,5	-3,43	-14,0...+16,3	0,79	0,77

ність добору за висотою рослин відмічено у популяції I-8 (RF = -0,6 см) та I-7 (RF = -1,9 см). В умовах 2022 року з високим позитивним показником індексу середовища (9,14) отримали абсолютно протилежні результати – відмічено зростання середньої величини значення висоти рослин у всіх популяцій (від +3,7 до +19,4 см). Практично всі синтетичні популяції за ознакою висоти рослин повернулися на показники урожаю 2020 року та були в межах похибки їх варіювання. У 2023 році реалізована ефективність добору (RF), на фоні несприятливих умов вегетації (-8,90), виявила найвищі показники (-9,0 – -28,5 см), що знизило висоту рослин порівняно з батьківськими формами на 7,7 – 21,6 %. В середньому за три роки спрямованого добору короткостеблових рослин в поєднанні з їх високою продуктивністю вдалося знизити довжину стебла у популяції від 1,93 до 6,23 %.

Відповідно до (Wright, 1921), коефіцієнт успадкування в вузькому розумінні (h²) визначає дію адитивних генів, які безпосередньо передаються від батьків до нащадків та може бути використаний для доборів рослин з заданими ознаками. Встановлене, в наших дослідженнях, співвідношення коефіцієнтів успадкування в широкому та вузькому розумінні вказує що дія генів з адитивним ефектом надає переважаючий вплив на загальну мінливість висоти рослин у досліджуваних популяціях.

Обговорення. Створення та впровадження у виробництво низькорослих сортів з метою забезпечення від вилягання посівів дозволило збільшити валові збори зернових культур (Shelepor et al., 2007). Селекція короткостеблових форм є одним із головних основних напрямів покращання зернових колосових культур (Kobylyanskyu, 1982). З розвитком культури землеробства кожні 50 років висота рослин зменшувалася приблизно на 15 см, що

пов'язано з вирішенням проблеми стійкості до вилягання (Fedorenko, 2016). Оцінка та добори за стійкістю до вилягання ґрунтуються на декількох методах: перш за все це візуальна оцінка, потім морфологічна та анатомічна з різним їх поєднанням. Основна ознака морфологічного методу оцінки – це висота рослини (Shelepor et al, 2007). Стійкість до вилягання залежить від багатьох факторів, але, в першу чергу, від міцності соломини та її висоти при добре розвиненій кореневій системі та формі куща рослини (Gale, 1985). Довгий час основним джерелом короткостебловості в селекції жита озимого були сорти західно-європейської екологічної групи: Kungz, Kungz II, Petkus Kurz, Danae, Carstens та ін., з використанням яких створені сорти з укороченою соломинною – Харківське 60, Немчинівська 50, Комбайніня, Вамбо, Восход 1 та ін (Bunyak, 2010). З 70-х років минулого століття, в селекцію інтенсивно залучали донори з домінантними алелями генів *H1* (Kobylyanskyu, 1982 або *Dwrt1* (Börner, 1999). Створені на Носівській селекційно – дослідній станції (Чернігівська обл.) донори короткостебловості з домінантною спадковістю – Гном 1, Гном 2, Гном 3 (Skoguk, 2013) сприяли введенню у виробництво нових сортів-синтетиків з зміненою архітектонікою рослин. Наявні публікації про рівень прояву кількісних ознак та їх успадкування в жита озимого в обмеженій кількості. Однак інтерпретація фактичних даних ступеню варіювання ознаки в конкретних умовах надають можливість адекватно оцінити гібридний матеріал і правильно провести добори. Фенотипова мінливість, зумовлена середовищем в якому оцінюють матеріал, може вносити труднощі при доборах, тому встановлюють частку генотипової мінливості, що зумовлена адитивною дією генів (Wright, 1921). А визначення коефіцієнта успадкування (h²), допомагає проведенню селекції з популяціями для генетичного

покращення культури. Зокрема у дослідженнях (Miedaner et al., 2012) висота рослин жита продемонструвала максимальну спадковість (0,9) і високі пропорції пояснених генотипових відхилень (61 і 77 %). В інших дослідженнях також відмічали високу спадковість за висотою рослин у двох популяціях (0,97 та 0,94 відповідно) (Miedaner et al., 2011). Змієвська та Єгоров (Zmiyevska & Yehorov, 2015), зазначають що характер успадкування більшості кількісних ознак жита озимого змінювався протягом років досліджень, окрім висоти рослин, кількості зерен з головного колоса, продуктивності рослини та врожайності де проявлявся стабільний гетерозис. За даними Мазур З.О. (Mazur et al., 2023), короткостеблові прості стерильні гібриди жита озимого, успадковували висоту рослин за типом депресії, від'ємного домінування або проміжного типу та не знижували стійкості рослин до вилягання. У дослідженнях Скорика В.В. (Skoryk, 2013) з донорами домінантною короткостебловістю відмічається що короткостебловість рослин донорів Гном 1 та Гном 2 контролю-

ється генетичними чинниками і мало залежить від впливу умов середовища.

Отже, отримані нами дані з особливостей прояву та успадкування висоти рослин у синтетичних популяціях переважно узгоджуються з проведеними раніше дослідженнями з сортами, лініями та популяціями.

Висновки. За результатами досліджень встановлено суттєвий вплив на формування висоти рослин жита озимого погодних умов року та генотипу. Визначено незначне варіювання за висотою рослин у всіх популяціях та сортів-синтетиків жита озимого. Коефіцієнт варіювання становив від 5,4 % до 13,9 %, що визначає низький та в окремих популяціях середній рівень мінливості. Виділили короткостеблову популяцію I-9 (\bar{X} = 113,0 см) з високою стабільністю та слабкою реакцією на зміну умов середовища прояву довжини стебла (b_1 = 0,70, S_1^2 = 1,8). Встановлено, переважаючи дію генів з адитивним ефектом на загальну мінливість висоти рослин у досліджуваних популяціях.

Бібліографічні посилання:

1. Andersson, R., Fransson, G., Tietjen, M. & Aman, P. (2009). Content and molecular-weight distribution of dietary fiber components in wholegrain rye flour and bread. *J Agric Food Chem.*, 57(5), 2004–2008.
2. Börner, A., Korzun, V., Voylokov, A.V., & Weber, W.E. (1999). Detection of quantitative trait loci on chromosome 5R of rye (*Secale cereale* L.). *Theor Appl Genet.*, 98(6–7), 1087–1090.
3. Brzozowski, L.J., Szuleta, E., Phillips, T.D., Van Sanford, D.A., & Clark, A.J. (2023). Breeding cereal rye (*Secale cereale*) for quality traits. *Crop Science*, 63, 1964–1987. doi: 10.1002/csc.2.21022
4. Bundessortenamt (2023). Beschreibende Sortenliste: Getreide, Mais; Öl- und Faserpflanzen; Leguminosen, Rüben, Zwischen-Früchte; Bundessortenamt [Federal plant variety office]. Hannover, Germany. (in German).
5. Bunyak, O.I. (2010). Osoblyvosti uspadkuvannya kilkisnykh oznak donoriv korotkosteblovosti zhyta ozymoho ta yikh vykorystannya v selektsiyi [Peculiarities of the inheritance of quantitative traits of short-stemmed donors of winter rye and their use in breeding]. *Dys. na zdobuttya nauk. stupenya kand. s.h. nauk: spets. 06.01.05 «Selektsiya i nasinnystvo»* (in Ukrainian).
6. Crespo-Herrera, L.A., Garkava-Gustavsson, L., & Åhman, I. (2017). A systematic review of rye (*Secale cereale* L.) as a source of resistance to pathogens and pests in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Hereditas*. May 25. 154, 14. doi: 10.1186/s41065-017-0033-5.
7. Demydov, O.A., Khomenko, S.O., Chuhunkova, T.V., & Fedorenko, I.V. (2019). Urozhaynist ta homeostatychnist kolektsiynykh zrazkyv pshenytsi yaroyi. [Productivity and homeostaticity of collection samples of spring wheat]. *Visn. ahrar. Nauky*, 9(798), 47–51 (in Ukrainian).
8. Eberhart, S.A. & Russel, W.A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6, 36–40.
9. Fedorenko, M.V. (2016). Selekcija pshenytsi tvrdoj yaroyi na stiykist do vylyhannya ta produktyvnist roslyn dlya umov Lisostepu Ukrainy [Breeding of durum wheat for burning resistance and productivity of plants for the conditions of the Forest Steppe of Ukraine]. *Dys. na zdobuttya nauk. stupenya kand. s.h. nauk: spets. 06.01.05 «Selektsiya i nasinnystvo»* (in Ukrainian).
10. Gale, M.D. & Youssefian, S. (1985). Dwarfing genes in wheat. In *Progress in plant breeding 1*. Edited by Russell G.E. London: Butterworth, 1–35.
11. Hackauf, B., Siekmann, D. & Fromme, F.J. (2022). Improving yield and yield stability in winter rye by hybrid breeding. *Plants*. 11, 2666. doi: 10.3390/plants11192666.
12. Information and search system "Register of varieties" (2024). Access mode: <http://service.ukragroexpert.com.ua>.
13. Khanhyldyn, V.V., & Lytvynenko, N.A. (1981). Homeostaticity and adaptability of winter wheat varieties. *Nauch.-tekh. byul. VSHY*, 1(39), 8–14.
14. Kobylyansky, V.D. (1982) Rye. genetic bases of selection, M., 221.
15. Korzun, V., Malyshev, S., Voylokov, A.V. & Börner, A. (2001). A genetic map of rye (*Secale cereale* L.) combining RFLP, isozyme, protein, microsatellite and gene loci. *Theor Appl Genet.*, 102, 709–717.
16. Laidig, F., Piepho, H.P., Rentel, D., Drobek, T., & Meyer, U. Huesken, A. (2017). Breeding progress, variation, and correlation of grain and quality traits in winter rye hybrid and population varieties and national on-farm progress in Germany over 26 years. *Theor Appl Genet.*, 130, 981–998. doi: 10.1007/s00122-017-2865-9.
17. Litun, P.P., Kyrychenko, V.V., Petrenkova, V.P., & Kolomatska, V.P. (2009). Systemnyy analiz v selektsiyi polovykh kultur. [Systematic analysis in the selection of field crops]. Mahda, Kharkiv (in Ukrainian).
18. Mazur, Z.O., Kornieieva, M.O., & Orlov, S.D. (2023). Fenotypovyi proiav asotsiatyvykh morfohenetychnykh oznak u prostykh sterylnykh hibrjdiv zhyta ozymoho (*Secale cereale* L.) [Phenotypic manifestation of associative morphogenetic traits in single-cross sterile hybrids of winter rye (*Secale cereale* L.)]. *Zernovi kultury*, 7 (2), 258–269 (in Ukrainian).

19. Miedaner, T., Hübner, M., Korzun, V., Schmedchen, B., Bauer, E., Haseneyer, G., Wilde, P., & Reif, J. C. (2012). Genetic architecture of complex agronomic traits examined in two testcross populations of rye (*Secale cereale* L.). *BMC Genomics*, 13, 706. doi:10.1186/1471-2164-13-706.
20. Miedaner, T., Müller, B.U., Piepho, H.P., & Falke, K.C. (2011). Genetic architecture of plant height in winter rye introgression libraries. *Plant Breeding*, 130(2), 209–216.
21. Niedziela, A., & Bednarek, P.T. (2023) Population structure and genetic diversity of a germplasm for hybrid breeding in rye (*Secale cereale* L.) using high-density DArTseq-based silicoDART and SNP markers. *J Appl Genetics*, 64, 217–229. doi: 10.1007/s13353-022-00740-w.
22. Olkhovyk, M.S. (2023). Variiuvannia oznak «vysota roslyn» ta «vysota prykriplennia kachana» u skorostyhykh hibrydiv kukurudzy v umovakh optimalnogo ta piznogo strokiv sivyb. [Variation of plant height and ear insertion height traits in short-season maize hybrids under the optimal and late sowing dates]. *Zernovi kultury*, 7 (1), 13–18 (in Ukrainian).
23. Rakoczy-Trojanowska, M., Bolibok-Bragoszewska, H., Myśków, B., Dziegielewska, M., Stojalowski, S., Grądzielewska, A., Boczkowska, M., & Moskal, K. (2021). Genetics and genomics of stress tolerance. In M. T. Rabanus-Wallace, & N. Stein (Eds.), *The rye genome*, 213–251. Springer International Publishing.
24. Rysin, A.L., & Volohdina, H.B. (2023). Minlyvist elementiv struktury vrozhaivosti sortiv i selektsiinykh liniy pshenytsi ozymoi v umovakh Lisostepu Ukrainy [Variability of yield components in winter wheat varieties and breeding lines under environment of Ukrainian Forest-Steppe]. *Zernovi kultury*, 7(1), 43–54 (in Ukrainian).
25. Shelepov, V.V., Havrylyuk, M.M., Chebakov, M.P., Honchar, O.M. & Verhunov, V.A. (2007). Seleksiya, nasinnytstvo ta sortoznavstvo pshenytsi [Breeding, seed production and varietal science of wheat]. *Myronivka*, 405 (in Ukrainian).
26. Siekmann, D., Jansen, G., Zaar, A., Kilian, A., Fromme, F.J., & Hackauf, B. (2021). A genome-wide association study pinpoints quantitative trait genes for plant height, heading date, grain quality, and yield in rye (*Secale cereale* L.). *Frontiers in Plant Science*, 12, 718081.
27. Skoryk, V.V. (2013) Donor korotkosteblosti zhyta ozymoho (*Secale cereale* L.) Hnom 1. [Gnome 1 as a donor for winter rye (*Secale cereale* L.) short stem] *Sortovyvchennya ta okhorona prav na sorty roslyn*, 4, 4–17 (in Ukrainian).
28. Skoryk, V.V. (2013) Donor korotkosteblosti zhyta ozymoho (*Secale cereale* L.) Hnom 2. [Gnome 2 as a donor for winter rye (*Secale cereale* L.) short stem]. *Sortovyvchennya ta okhorona prav na sorty roslyn*, 2, 4–11 (in Ukrainian).
29. Skoryk, V.V. (2013). Rezultaty tryvaloho spryamovanoho doboru na korotkosteblist zhyta ozymoho (*Secale cereale* L.). [Output of continuous directed selection aimed at short stem development in Winter Rye (*Secale cereale* L.)] *Sortovyvchennya ta okhorona prav na sorty roslyn*, 2(19), 23–30 (in Ukrainian).
30. Wright, S. (1921) Correlation and causation. *J. of Agric. Res.* 20(7), 557–585.
31. Zmiyevska, O.A., & Yehorov, D.K. (2015). Uspadkuvannya tsinnykh oznak u prostykh hibrydiv F₂ zhyta ozymoho. [Inheritance of valuable traits in F₂ simple hybrids of winter rye]. *Seleksiya i nasinnytstvo*, 108, 92–98. (in Ukrainian).
32. Zohary, D. & Hopf, M. (2000). *Domestication of plants in the Old World*, third edition. University Press, Oxford, 75.

Bunyak O. I. PhD (Agricultural Sciences), *Nosivka Breeding & Research Station of the Myroniv Institute of wheat National Academy of Sciences of Ukraine, Doslidne, Ukraine*

Shovkun S. V. Researcher, *Nosivka Breeding & Research Station of the Myroniv Institute of wheat National Academy of Sciences of Ukraine, Doslidne, Ukraine*

Plant height in synthetic populations of winter rye in the conditions of the northern Forest Steppe of Ukraine

We studied the genetic and statistical parameters of plant height in synthetic populations of winter rye of different genetic origin, which were created on the basis of short-stemmed donors with dominant heredity. Selection intensity (S_d), selection result (RF) were determined. The coefficient of inheritance in the broad sense (H^2) was defined as the ratio of genotypic to phenotypic variance, the coefficient of inheritance in the narrow sense (h^2) was defined as the doubled correlation coefficient between the phenotypes of parents and offspring. The regression coefficient (b_i) and mean square deviation from regression ($S^2_{d_i}$), homeostaticity (Hom) and selection value (S_c) of winter rye genotypes were calculated. Sixteen synthetic populations were studied and compared with five synthetic varieties of winter rye: Sintetyk 38, Amey, Versha, Zhatva and Kobza. The purpose of the research was to determine the characteristics of the manifestation of the stem length of winter rye depending on environmental conditions and the intensity of selection for shortness in genotypically different populations for the improvement of the trait. In 2021–2023, sixteen synthetic populations (F_2-F_3) were analyzed and formed by the method of individual-family selection (the best plants with a combination of short stem (≤ 120 cm), grain size (≥ 5.0 g) and other productivity characteristics). A significant influence of weather conditions of the year and genotype on the formation of the height of winter rye plants was established. A slight variation in plant height was determined in all populations and synthetic varieties of winter rye (5.4%–13.9%). Seven populations (I-1, I-4, I-5, I-7, I-8, I-15 and the synthetic variety Amey) reacted strongly to the change in environmental conditions, $b_i = 1.11$ – 1.75 . A weak reaction, in terms of stem length, to a change in growing conditions was noted in populations I-2, I-6, I-9, I-10, I-12, I-13, I-14, I-16 and Zhatva synthetic varieties and Kobza ($b_i = 0.50$ – 0.94). Populations I-2 (Hom = 2236.4; $S_c = 110.2$), I-6 (Hom = 2216.9; $S_c = 109.9$) and synthetic variety Zhatva (Hom = 2169.8, $S_c = 113.4$) were identified as the best in terms of breeding value and homeostatic. The selection differential (S_d) in 2020 for plant height in different populations varied from -1.8 to -19.2 cm, in 2021 from $+3.2$ to -10.3 cm, in 2022 from -2.2 to -18.6 cm. On average, over three years, the selection differential for reducing the height of plants in populations varied from -2.27 to -11.53 cm. Over three years, the targeted selection of short-stemmed plants in combination with their high productivity succeeded reduce the stem length in populations from 1.93 to 6.23%. A short-stemmed population I-9 ($\bar{X} = 113.0$ cm) with high stability and a weak reaction to changes in the environmental conditions of the manifestation of stem length ($b_i = 0.70$, $S^2_{d_i} = 1.8$) was isolated. The dominant effect of genes with an additive effect on the overall variability of plant height in the studied populations was established.

Key words: winter rye, selection, inheritance, plant height, synthetic populations.