

ВИКОРИСТАННЯ СЕЛЕКЦІЙНИХ ІНДЕКСІВ ДЛЯ ОЦІНКИ РІЗНИХ ЗА ПОХОДЖЕННЯМ ГЕНОТИПІВ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ

Лозінський М. В., Грабовський М. Б.

ВСТУП

Пшениця озима – основна зернова культура у світі, яка забезпечує близько 20% потреб людства у калоріях¹ і має площу посіву близько 230 млн га² з валовими зборами зерна понад 766,4 млн т (FAO)³, тому збільшення виробництва саме цієї культури є одним із вагомих складників харчової безпеки людства⁴.

Переконливо доведена роль селекції у підвищенні продуктивності та поліпшенні якісних показників продукції пшениці^{5,6}. Сьогодні одним із найбільш актуальних селекційних завдань є генетичне збільшення потенціалу продуктивності створюваних сортів із відповідними якісними показниками продукції та

¹ Tadesse W., Sanchez-Garcia M., Assefa S.G, Amri A., Bishaw Z., Ogbonnaya F.C., Baum M. Genetic gains in wheatbreeding and its role in feeding the world. *Crop Breeding, Genetics and Genomics*. 2019. № 1. Article e190005. doi: [10.20900/cbgb20190005](https://doi.org/10.20900/cbgb20190005).

² Venske E., dos Santos R.S., Busanello C., Gustafson P., de Oliveira A.C. Bread wheat: a role model for plant domestication and breeding. *Hereditas*. 2019. 156. 16. doi: [10.1186/s41065-019-0093-9](https://doi.org/10.1186/s41065-019-0093-9).

³ FAO. Crop Prospects and Food Situation – Quarterly Global Report. 2019. № 4. 46 p. <http://www.fao.org/3/ca7236en.pdf>.

⁴ Hatfield J.L., Beres B.L. Yield gaps in wheat: path to enhancing productivity. *Frontiers in Plant Science*. 2019. № 10. Article 1603. doi: [10.3389/fpls.2019.01603](https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01603)

⁵ Laidig F., Piepho H.P., Rentel D., Drobek T., Meyer U., Huesken A. Breeding progress, environmental variation and correlation of winter wheat yield and quality traits in German official variety trials and on-farm during 1983–2014. *Theoretical and Applied Genetics*. 2017. № 130(5). pp. 223–245. doi: [10.1007/s00122-016-2810-3](https://doi.org/10.1007/s00122-016-2810-3)

⁶ Nehe A., Akin B., Sanal T., Evlice A.K., Uënsal R., Dincëer N., Demir L., Geren H., Sevim I., Orhan Ş., Yaktubay S., Ezici A., Guzman C., Morgounov A. Genotype × environment interaction and genetic gain for grain yield and grain quality traits in Turkish spring wheat released between 1964 and 2010. *PLoS ONE*. 2019. № 14(7). Article e0219432. doi: [10.1371/journal.pone.0219432](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219432).

підвищення стійкості (толерантності) до дії абіотичних і біотичних стресів^{7 8 9 10}.

Одним із можливих напрямів ефективної оцінки вихідного матеріалу і сортів є використання селекційних індексів. Селекційним індексом може бути числове співвідношення двох і більше компонентів, а саме кількісних показників^{11 12}.

Ідею селекційних індексів запропонував Г. Сміт у 30-х роках минулого століття під час роботи з пшеницею. Цей підхід набув широкого використання в селекції рослин і тварин¹³.

У селекційно-генетичних роботах із рослинами селекційні індекси вперше застосував на пшениці відомий учений Ю.А. Філіпченко¹⁴. Розрахувавши 11 індексів за 14 кількісними показниками і порівнявши їх з абсолютними значеннями, учений зазначив, що використання індексів ефективне тільки в окремих випадках, а саме під час виявлення непомітної за абсолютними значеннями закономірності або ж за умов низької варіабельності.

У селекційній практиці відома низка селекційних індексів, до складу яких входять комплекс ознак вегетативних і репродуктивних частин рослини. Селекційні індекси є одним із поширених методів,

⁷ Gilliham M., Able J.A., Roy S.J. Translating knowledge about abiotic stress tolerance to breeding programmes. *The Plant Journal*. 2017. № 90. pp. 898-917.

⁸ Macholdt J., Honermeier B. Yield stability in winter wheat production: a survey on german farmers' and advisors' views. *Agronomy*. 2017. № 7. Article 45. doi: 10.3390/agronomy7030045.

⁹ Arous J.L., Serret M.D., Lopes M.S. Transgenic solutions to increase yield and stability in wheat: shining hope or flash in the pan? *Journal of Experimental Botany*. 2019. № 70(5). pp. 1419-1424. doi: 10.1093/jxb/erz077.

¹⁰ Vlasenko V., Bakumenko O., Osmachko O., Bilokopytov V., Meng F., Humeniuk O. The usage perspectives of the Chinese current wheat germplasm in the breeding of a new Ukrainian variety generation. *AgroLife Scientific Journal*. 2019. № 8(2). pp. 162-173.

¹¹ Тищенко В.Н., Чекалин Н.М. Генетические основы адаптивной селекции озимой пшеницы в зоне Лесостепи. Полтава, 2005. 270 с.

¹² Драгавцев В.А. Решения технологических задач селекционного повышения урожая, вытекающие из теории эколого-генетической организации количественных признаков. *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 2019. Вып. 132. С. 17-28

¹³ Смирязев А.В., Гохман М.В. Биометрические методы в селекции растений. Москва, 1985. 215 с.

¹⁴ Филипченко Ю.А. Генетика мягких пшениц. Ленинград. Государственное издательство совхозной и колхозной литературы, 1934. С. 27-30.

що підвищують ефективність доборів і оцінки за допомогою додаткової інформації про вторинні маркерні ознаки¹⁵.

Практичний інтерес становить зв'язок селекційних індексів із господарсько-цінними ознаками та показниками. Наявність тісних кореляційних зв'язків дозволила б використовувати селекційні індекси як маркерні ознаки і суттєво полегшила б пошук селекційно-цінних форм із заданими параметрами¹⁶.

Перевага відбору за індексами полягає в можливості оцінювати селекційний матеріал не за однією, а за сукупністю ознак, тісно взаємопов'язаних із параметрами продуктивності. При цьому використання індексів вимагає ретельного аналізу їх інформативності за умов зміни різних лімітувальних факторів зовнішнього середовища в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах¹⁷.

Селекційні індекси піддаються значному впливу метеорологічних умов, тому їх показники значно різняться, що необхідно враховувати в селекційному процесі¹⁸.

Науковцями також зазначається, що селекційні індекси побічно відображають стійкість до фітопатогенів за рахунок маси стебла і маси зерна з колоса¹⁹.

Метою наших досліджень було встановлення впливу контрастних метеорологічних умов на вияв і мінливість селекційних індексів і їх складників, одним із компонентів яких є довжина головного стебла. Важливим також було визначення кореляційної

¹⁵ Хоменко С.О., Федоренко І.В., Близнюк Р.М., Раченко О.С., Данюк Т.А. Оцінка сортів пшениці м'якої ярої за селекційними індексами. *Селекція і насінництво*. 2015. Вип. 108. С. 77-82. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2015.57354>.

¹⁶ Вертий Н.С., Титаренко А.В., Титаренко Л.П., Козлов А.А. Селекционные индексы в оценке ячменно-пшеничных гибридов. *Нива Поволжья*. 2016. № 2 (39). С. 9-15.

¹⁷ Плиско Л.Г., Пакуль В.Н. Оценка селекционных линий яровой мягкой пшеницы по селекционным индексам. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2017. № 12(66). С. 127-130.

¹⁸ Малокоостова Е.И., Пивоварова И.Ю., Попова А.В. Оценка селекционных линий и сортов яровой пшеницы по селекционным индексам. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2019. № 1. С. 24-27.

¹⁹ Мальцева Л.Т., Филиппова Е.А., Банникова Н.Ю., Катаева Н.В. Эффективность отбора по селекционным индексам в контрастных условиях Зауралья. *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2020. № 2(54). С. 32-38. DOI 10.31563/1684-7628-2020-54-2-32-38.

взаємозалежності селекційних індексів з елементами структури врожайності.

Дослідження проведено на Білоцерківській дослідно-селекційній станції впродовж 2011–2013 рр. Матеріалом для досліджень були 11 перспективних селекційних ліній пшениці м'якої озимої, отриманих індивідуальним добором із гібридних популяцій від схрещування батьківських компонентів різного еко типу (табл. 1). Стандартами були сорти пшениці м'якої озимої Білоцерківська напівкарликова, Перлина лісостепу і Подолянка. Досліди закладали повними рендомізованими блоками у триразовій повторності. Облікова площа ділянки – 10 м². Попередник – горох, агротехніка є загальноприйнятою для зони Лісостепу.

Биометричні аналізи і ступінь кореляційних взаємозв'язків між елементами структури врожайності визначали за середнім зразком 25 рослин у триразовій повторності, відібраних на початку повної стиглості пшениці. Силу кореляційного зв'язку між ознаками встановлювали за Ю.Л. Гужовим: $r < 0,3$ – зв'язок між ознаками слабкий, $0,3 < r < 0,5$ – помірний, $0,5 < r < 0,7$ – значний, $0,7 < r < 0,9$ – сильний, $r > 0,9$ – дуже сильний, близький до функціонального²⁰.

Середнє арифметичне \bar{X} , розмах мінливості (min–max), дисперсію (S^2) та коефіцієнт варіації (V, %) визначали відповідно методик П.Ф. Рокицького (1973)²¹ і Б.А. Доспехова (1985)²².

Для оцінки селекційних ліній пшениці м'якої озимої використовували такі індекси: фіно-скандинавський (FSJ) – відношення кількості зерен із головного колосу (шт.) до довжини стебла (см) помножене на 100; мексиканський (MJ) – відношення маси зерна з головного колосу (г) до довжини стебла (см) помножене на 100; перспективності (JP) – відношення маси 1000 зерен із головного колосу (г) до довжини стебла (см) помножене на 100; сили соломини (JS) – відношення маси соломини (г) до довжини головного стебла (см) помножене на 100, які визначали за методикою I Szamak²³; інтенсивності (JJ) – відношення маси

²⁰ Гужов Ю.Л., Кесаварао П.С., Велланки Р.К. Тритикале – досягнення и перспективи селекції на основе математического моделирования : монография. Москва, 1987. 232 с.

²¹ Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. Минск, 1973. 320 с.

²² Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва, 1985. 351 с.

²³ Szamak I. Breeding of dwarf wheat by means of three indexes breaking correlations. *Cereal research Communications*. 1979. Vol. 7. № 3. pp. 215-226.

головного стебла (г) до довжини стебла (см) помножене на 100, що визначали за В.М. Тищенко²⁴.

Таблиця 1

**Характеристика досліджених генотипів
пшениці озимої за походженням**

Шифр	Сорт, селекційна лінія	Походження	Різновидність
G1	Перлина лісостепу	Безоста 1 / Білоцерківська 198 / Білоцерківська 21 / Миرونівська 27	lutescens
G2	Білоцерківська напівкарликова	Донський напівкарлик / Білоцерківська 47 / Донський напівкарлик	erythrosperrum
G3	Подільянка	Обробка насіння сорту Донецька 48 водним розчином мутагену N-нітрозодиметилсечовини - 0,001 %	erythrosperrum
G4	7 КС	Донецька 48 / Веселка	lutescens
G5	8 КС	Донецька 48 / Білоцерківська інтенсивна	erythrosperrum
G6	42 КС	Повага / Перлина Лісостепу	erythrosperrum
G7	29 КС	Луганчанка / Білоцерківська 71/03	lutescens
G8	26 КС	Роставиця / Дріада 1	erythrosperrum
G9	24 КС	Білоцерківська 47 (скверхед) / Одеська 162	erythrosperrum
G10	12 КС	Елегія / Перлина Лісостепу	lutescens
G11	44 КС	Київська 8 / Роставиця	erythrosperrum
G12	54 КС	Веселка / Миرونівська 65	lutescens
G13	22 КС	Донецька безоста / Century	erythrosperrum
G14	17 КС	Напівкарлик 3 / Century	erythrosperrum

Для комплексної оцінки умов зволоження користувалися гідротермічним коефіцієнтом (далі – ГТК) за Селяніновим²⁵, який урахує як надходження води у вигляді опадів, так і сумарну їх

²⁴ Тищенко В.Н. Влияние сроков посева на изменчивость хозяйственно-ценных признаков у гибридных линий (F₃) озимой пшеницы. *Вісник полтавської державної аграрної академії*. 2002. № 4. С. 5-8.

²⁵ Шульгин А.М. Агрометеорология и агроклиматология. Ленинград, 1978. 200 с.

витрату на випаровування, яка визначається температурою повітря за цей же час і вираховується за формулою:

$$ГТК = \frac{\sum O}{0,1 * \sum t^{\circ}}$$

$\sum O$ – кількість опадів за період із температурами вище 10°C, мм;
 $\sum t^{\circ}$ – сума температур вище 10°C за той же час зменшена у 10 разів.

Уважається, що за ГТК < 0,4 – дуже сильна посуха, від 0,4 до 0,5 – сильна посуха, від 0,5 до 0,6 – середня посуха, від 0,7 до 0,9 – слабка посуха, від 1,0 до 1,5 – достатньо волого, > 1,5 – надмірно волого.

Гідротермічні умови в роки проведення досліджень характеризувалися контрастними показниками, що значно вплинуло на час відновлення весняної вегетації та ріст і розвиток рослин пшениці озимої впродовж онтогенезу (табл. 2).

Таблиця 2

Метеорологічні умови весняно-літньої вегетації пшениці озимої

Місяць	Декада	Сума опадів, мм				Температура повітря, °С			
		2011 р.	2012 р.	2013 р.	багато-річна	2011 р.	2012 р.	2013 р.	багато-річна
Квітень	II	2,5	40,4	8,4	17	7,2	10,8	10,4	7,8
	III	2,3	6,2	0,0	16	13,8	17,5	15,9	10,4
Травень	I	33,9	5,8	0,0	16	11,2	19,5	18,0	13,5
	II	8,2	0,5	50,9	12	16,4	17,2	19,8	15,3
	III	9,5	0,5	28,6	18	19,3	18,0	17,6	15,8
Червень	I	0,0	35,3	39,3	23	22,3	18,5	19,0	17,3
	II	38,9	0,0	19,0	27	20,6	17,4	21,2	17,4
	III	96,1	4,5	40,3	23	17,4	18,7	21,8	18,7
Липень	I	27,8	4,6	7,7	35	18,4	18,5	20,2	18,5
	II	-	-	2,0	24	-	-	18,9	19,4

Контрастні метеорологічні умови, що склалися в роки досліджень, значно зумовлювали формування кількісних ознак, які були складниками селекційних індексів: довжини головного стебла, кількості зерен і маси зерна головного колосу, маси 1000 зерен, маси головного стебла та маси соломини головного стебла.

1. Формування в генотипів пшениці м'якої озимої складників селекційних індексів

Стебло пшениці виконує важливі фізіологічні функції фотосинтезу і транспортування метаболітів в онтогенезі рослин, а

особливості його морфології й анатомії визначають стійкість рослин до вилягання і здатність їх реалізувати продуктивний потенціал^{26,27,28}, застосовуючи високі дози азоту²⁹.

За однакових умов вирощування біомаса напівкарликових і середньорослих генотипів має відмінності, що визначається ознакою довжина стебла. Зростання біомаси рослин веде до накопичення більшої кількості пластичних речовин, але продуктивність колосу в різних генотипів буде мати відмінності, пов'язані з процесами перерозподілу продуктів фотосинтезу. Тому ми у своїх дослідженнях розділили селекційні лінії за висотою рослин (згідно з міжнародним класифікатором) на напівкарликові і середньорослі³⁰.

Ріст стебла у 2011 р. (IV–IX етап органогенезу) проходив за ГТК 0,63, а період із часу відновлення весняної вегетації (22 березня) до колосіння ранньостиглого стандарту G2(25 травня) тривав 65 днів. Напівкарликові лінії у 2011 р. мали довжину стебла 57,2–75,2 см., а середньорослі – 85,6–98,1 см. (табл. 3).

У 2012 р. від відновлення весняної вегетації (15 березня) до колосіння G2 минув 61 день. Посушливими були III декада квітня і I декада травня, коли фактична температура повітря перевищувала середньобагаторічні показники на 7,1 і 6,0 °С відповідно. Гідротермічний коефіцієнт за період росту стебла становив 0,87. Аналіз довжини стебла у 2012 р. свідчить, що середньорослі генотипи мали середній показник на рівні 2011 р. Довжина стебла у напівкарликів була на 5,2 см більшою. Селекційні лінії G14 і G13 перевищували за довжиною стебла показник 2011 р. на 13,1 і 9,4 см відповідно.

²⁶ Алиева А.Д. Характер наследования высоты растений у гибридов пшеницы, полученных с участием карликового сорта AI-BIAN 1. *Генетические ресурсы культурных растений. Проблемы эволюции и систематики. Под общей ред. д-ра биол. наук, проф. НИИ Дзюбенко.* Санкт-Петербург, 2009. С. 251-254.

²⁷ Борисенко В.А., Грицевич Г.М., Лісничук Г.М., Савчук О.І. Селекція озимої пшениці в умовах Західного лісостепу України. *Генетика і селекція в Україні на межі тисячоліть: У 4 т. Редкол.: В.В. Моргу́н (голов. ред.) та ін.* Київ, 2001. Т. 2. С. 474-480.

²⁸ Орлюк А.П. Генетика пшениці з основами селекції. Херсон, 2012. 436 с.

²⁹ Шпаар Д. *Зерновые культуры: выращивание, уборка, хранение и использование.* Киев, 2012. 704 с.

³⁰ Широкий унифицированный классификатор СЭВ рода *Triticum* L. Ленинград, 1989. 44 с.

Метеорологічні умови 2013 р. в період формування довжини стебла (порівняно з попередніми роками) характеризувалися підвищеними температурами і нерівномірним розподілом опадів. Так, ГТК у перший місяць від часу відновлення весняної вегетації (15 квітня) становив 0,19, а в подальші 30 днів був на рівні 2,10. Від відновлення весняної вегетації до колосіння стандарту G2 пройшло лише 35 днів, що значно менше за попередні роки. Таким чином, умови, що склалися у 2013 р., прискорили проходження етапів органогенезу і значно вплинули на ріст і розвиток пшениці озимої.

Таблиця 3

Рівень вияву та варіабельність довжини головного стебла у генотипів пшениці озимої

Шифр	Довжина стебла, см				Параметри мінливості		
	2011 р.	2012 р.	2013 р.	\bar{x}	R	S ²	V, %
Напівкарлики							
G14	60,9	74,0	54,7	63,2	19,3	97,09	15,6
G13	70,4	79,8	56,0	68,7	23,8	143,69	17,4
G9	75,2	78,1	55,8	69,7	22,3	147,01	17,4
G8	57,2	64,6	54,4	58,7	10,2	27,77	9,0
G11	73,8	72,6	59,6	68,7	14,2	62,01	11,5
G2	69,0	69,0	49,4	62,5	19,6	128,05	18,1
НІР ₀₅	1,27	1,57	2,63				
Середньорослі							
G4	86,9	85,9	51,1	74,6	35,8	415,61	27,3
G5	87,3	84,4	53,0	74,9	34,3	361,81	25,4
G10	85,6	90,5	65,2	80,4	25,3	180,04	16,7
G7	96,8	91,8	73,8	87,5	23,0	146,33	13,8
G6	98,1	92,6	68,8	86,5	29,3	242,53	18,0
G12	90,6	88,8	64,2	81,2	26,4	217,56	18,2
G1	86,1	90,3	57,7	78,0	32,6	314,49	22,7
G3	85,6	81,2	55,3	74,0	30,3	268,04	22,1
НІР ₀₅	2,51	2,72	3,15				

У найбільш несприятливих умовах 2013 р. довжина стебла у напівкарликів складала 49,4–59,6 см, що значно менше минулих років. Усі середньорослі генотипи, маючи довжину стебла 51,1–73,8 см, були зараховані до напівкарликів.

Мінливість довжини стебла у більшості напівкарликів була середньою (V=11,5–18,1%). Коефіцієнт варіації у середньорослих форм (20,5%) значно перевищував показник напівкарликів (14,8%) і змінювався від 13,8% (G7) до 27,3% (G4).

Продуктивність озимої пшениці має складну полігенну природу. Ознаки розрізняються за широтою норми реакції або модифікаційної мінливості³¹.

Кількість зерен у колосі (як один із головних елементів структури врожайності) зумовлений генотипом і модифікується умовами навколишнього середовища. При цьому на формування кількості зерен у колосі впливають різноманітні відмінні чинники. По-перше, морфологічна будова і розмір колосу (його довжина, кількість колосків, квіток і зерен у колосках), формування яких розпочинається на III–IV і закінчується (за Ф.М. Куперман³²) на IX етапі органогенезу.

У 2011 р. за середньої за генотипами кількості зерен у головному колосі (36,1 шт.) мінливість склала 29,2–51,1 шт. В умовах 2012 р. кількість зерен із головного колосу варіювала від 26,4 шт. (G10) до 44,4 шт. в лінії G12, за середнього показника – 37,0 шт. У найбільш несприятливому за погодними умовами 2013 р. середня кількість зерен була на рівні 33,2 шт. (min=25,6; max=45,5) (табл. 4).

Таблиця 4

Рівень вияву та варіабельність кількості зерен в головному колосі у генотипів пшениці озимої

Шифр	Кількість зерен, шт.				Параметри мінливості		
	2011 р.	2012 р.	2013 р.	\bar{x}	R	S ²	V, %
G1	34,7	36,8	30,3	33,9	6,5	11,00	9,8
G2	39,2	39,2	28,5	35,6	10,7	38,16	17,4
G3	35,5	39,2	25,6	33,4	13,6	49,44	21,1
G4	34,8	38,0	26,5	33,1	11,5	35,23	17,9
G5	38,4	32,7	32,1	34,4	6,3	12,09	10,1
G6	37,4	39,4	34,5	37,1	4,9	6,07	6,6
G7	31,7	33,1	38,7	34,5	5,6	13,72	10,7
G8	30,4	29,8	30,2	30,1	0,6	0,09	1,0
G9	51,1	40,1	36,7	42,6	14,4	56,65	17,7
G10	31,5	26,4	45,5	34,5	19,1	97,80	28,7
G11	38,9	41,6	26,8	35,8	14,8	62,12	22,0
G12	35,1	44,4	42,7	40,7	9,3	24,52	12,2
G13	38,0	40,1	36,1	38,1	4,0	4,00	5,2
G14	29,2	36,7	31,0	32,3	7,5	15,33	12,1
HP ₀₅	3,57	2,30	3,17	3,01	-	-	-

³¹ Манукян И.Р., Басиева М.А., Мирошникова Е.С., Абиев В.Б. Использование нового индекса продуктивности растений для оценки селекционного материала озимой пшеницы. *Нива Поволжья*. 2019. № 2(51). С. 47-52.

³² Куперман Ф.И. Биология развития культурных растений. Москва, 1982. 343 с.

У середньому за дослідом коефіцієнта варіації (13,9%) його варіювання становило 1,0–28,7%, що свідчить про різну норму реакції досліджуваних генотипів за кількістю зерен із головного колосу на умови навколишнього середовища, що склалися в роки експерименту.

Незначну мінливість кількості зерен (0,6–6,5 шт.) і низькі показники коефіцієнта варіації (1,0–9,8%) мали G8, G13, G6 та стандарт G1. Середнє варіювання ($V=10,1-17,9\%$), за амплітуди кількості зерен (6,3–14,4 шт.), спостерігалось в G5, G7, G14, G12, G9, G4 і стандарту G2. Селекційні лінії G10, G11 і стандарт G3 мали (в середньому за три роки) значний коефіцієнт варіації (21,1–28,7%) і розмах мінливості ознаки (13,6–19,1 шт. зерен).

У селекції пшениці важлива роль відводиться масі зерна з колоса, яка є маркерною ознакою і свідчить про продуктивність генотипу.

У 2011 р. за середньої маси зерна з головного колосу (1,32 г) варіювання за генотипами склало від 1,01 г (G8, G14) до 1,91 г – G9. Найбільша маса зерна в головному колосі формувалась у 2012 р. з варіюванням – 1,11–2,19 г і середньою за генотипами – 1,71 г. У найбільш екстремальному за абіотичними умовами 2013 р. маса зерна змінювалась від 0,97 г (G3) до 2,04 г (G10), за середньої 1,41 г (табл. 5).

Таблиця 5

Рівень вияву та варіабельність маси зерна з головного колосу в генотипів пшениці озимої

Шифр	Маса зерна, г				Параметри мінливості		
	2011 р.	2012 р.	2013 р.	\bar{x}	R	S ²	V, %
G1	1,43	1,83	1,21	1,49	0,62	0,10	21,2
G2	1,13	1,74	1,04	1,30	0,70	0,15	29,8
G3	1,26	1,92	0,97	1,38	0,95	0,24	35,5
G4	1,44	1,98	1,05	1,49	0,93	0,22	31,5
G5	1,49	1,53	1,25	1,42	0,28	0,02	10,0
G6	1,54	1,78	1,56	1,63	0,24	0,02	8,7
G7	1,18	1,58	1,77	1,51	0,59	0,09	19,9
G8	1,01	1,11	1,32	1,43	0,31	0,03	12,1
G9	1,91	1,86	1,42	1,73	0,49	0,07	15,3
G10	1,04	1,13	2,04	1,40	1,00	0,31	39,8
G11	1,65	1,76	1,27	1,56	0,49	0,07	17,0
G12	1,28	2,19	1,83	1,77	0,91	0,21	25,9
G13	1,13	1,74	1,55	1,47	0,61	0,10	21,5
G14	1,01	1,85	1,48	1,45	0,84	0,18	29,3
HP ₀₅	0,11	0,06	0,02		-	-	-

У середньому за три роки найменшу мінливість маси зерна з головного колосу (0,24; 0,28 г) і незначні коефіцієнти варіації ($V=8,7$; 10,0%) відмічені в ліній G6, G5. Середнім коефіцієнтом варіації ($V=12,1-19,9\%$) за амплітуди маси зерна (0,31–0,59 г) характеризувалися G8, G9, G11, G7. У селекційних ліній G4, G10, G12, G13, G14 і стандартів G1–G3 встановлена найбільша мінливість (0,61–1,00 г) зі значним коефіцієнтом варіації ($V=21,2-39,8\%$).

Важливість маси 1000 зерен підтверджується численними дослідженнями, присвяченими визначенню її генетичної детермінації^{33,34,35,36}.

У 2011 р. середня у досліді маса 1000 зерен була мінімальною – 36,4 г. (min=28,5 г; max=41,9 г), а її високі показники у більшості генотипів формувалися у 2012 р. з варіюванням від 37,2 г у G8 до 52,0 г у G4. (табл. 6).

У більшості генотипів розмах мінливості маси 1000 зерен у роки досліджень становив 7,9–14,8 г за середнього коефіцієнта варіації (10,9–18,6%). У стандарту G2 за мінливості ознаки (28,5–43,3 г) коефіцієнт варіації був значний (20,5%). Селекційні лінії G6, G11, G9 мали низьку мінливість ($V=5,6-9,8\%$).

³³ Liu G., Jia L., Lu L., Qin D., Zhang J., Guan P., Yao Y., Sun Q., Peng H. Mapping QTLs of yield-related traits using RIL population derived from common wheat and Tibetan semi-wild wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2014. № 127(11). pp. 2415-2432. doi:10.1007/s00122-014-2387-7.

³⁴ Wang L., Ge H., Hao C., Dong Y., Zhang X. Identifying Loci Influencing 1,000-kernel weight in wheat by microsatellite screening for evidence of selection during breeding. *PLoS ONE*. 2012. № 7(2). Article e29432. doi:10.1371/journal.pone.0029432.

³⁵ Zou J., Semagn K., Iqbal M., Chen H., Asif M., N'Diaye A., Navabi A., Perez-Lara E., Pozniak C., Yang R.-C., Randhawa H., Spaner D. QTLs associated with agronomic traits in the Attila × CDC Go springwheat population evaluated under conventional management. *PLoS ONE*. 2017. № 12 (2). Article e0171528. doi:10.1371/journal.pone.0171528.

³⁶ Jin J., Liu D., Qi Y., Ma J., Zhen W. Major QTL for seven yield-related traits in common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Frontiers in Genetics*. 2020. № 11. Article 1012. doi: 10.3389/fgene.2020.01012.

Таблиця 6

**Рівень вияву та варіабельність маси 1000 зерен
головного колосу в генотипів пшениці озимой**

Шифр	Маса 1000 зерен, г				Параметри мінливості		
	2011 р.	2012 р.	2013 р.	— <i>x</i>	R	S ²	V, %
G1	41,1	48,1	39,3	42,8	8,8	21,61	10,9
G2	28,5	43,3	36,6	36,1	14,8	54,92	20,5
G3	35,5	48,1	37,8	40,5	12,6	45,02	16,6
G4	41,5	52,0	40,1	44,5	11,9	42,30	14,6
G5	38,8	46,4	38,5	41,2	7,9	20,04	10,9
G6	40,7	44,5	45,2	43,5	4,5	5,86	5,6
G7	37,8	47,7	45,7	43,7	9,9	27,40	12,0
G8	33,1	37,2	43,4	37,9	10,3	26,89	13,7
G9	37,3	44,8	38,8	40,3	7,5	15,75	9,8
G10	33,0	42,1	44,9	40,0	11,9	38,71	15,6
G11	41,9	42,3	47,7	44,0	5,8	10,49	7,4
G12	36,3	47,3	43,1	42,2	11,0	30,81	13,2
G13	29,6	41,7	42,7	38,0	13,1	53,17	19,2
G14	34,5	49,3	47,8	43,9	14,8	66,36	18,6
HP ₀₅	0,87	0,80	0,49		-	-	-

Найбільш сприятливі умови для формування маси головного стебла були у 2012 р. Так, у напівкарликів, за середнього показника 4,15 г варіювання склало 3,52–4,82 г. За середньої маси головного стебла у середньорослих генотипів (4,31 г) мінливість становила від 3,35 г (G10) до 4,63 г – G12. В умовах 2013 р. маса головного стебла у напівкарликів змінювалась у межах 2,51–4,14 г, за середнього значення 3,23 г. Середньорослі форми за середньої маси стебла (3,63 г) мали мінімальне і максимальне значення 2,61 г та 4,90 г відповідно. Середня маса головного стебла у 2011 р. напівкарликів становила 2,68 г за варіювання від 2,11 г (G14) до 3,69 г (G9). Середньорослі генотипи мали мінливість у межах 2,47–3,35 г за середньої маси стебла на рівні 2,94 г (табл. 7).

Таблиця 7

**Рівень вияву та варіабельність маси головного стебла
у генотипів пшениці озимі**

Шифр	Маса головного стебла, г				Параметри мінливості		
	2011 р.	2012 р.	2013 р.	— x	R	S ²	V, %
Напівкарлики							
G14	2,11	4,25	3,25	3,20	2,14	1,15	33,5
G13	2,51	4,27	4,14	3,64	1,76	0,96	26,9
G9	3,69	4,82	3,24	3,92	1,58	0,66	20,7
G8	2,05	3,52	3,26	2,94	1,47	0,62	26,8
G11	3,30	4,12	2,98	3,47	1,14	0,35	17,0
G2	2,42	3,93	2,51	2,95	1,51	0,72	28,8
HIP ₀₅	0,04	0,03	0,02	0,03	-	-	-
Середньорослі							
G4	3,06	4,57	2,87	3,50	1,70	0,87	26,6
G5	3,28	4,61	3,11	3,67	1,50	0,67	22,3
G10	2,47	3,35	4,03	3,28	1,56	0,61	23,8
G7	2,70	4,24	4,90	3,95	2,20	1,27	28,5
G6	3,35	4,44	3,97	3,92	1,09	0,30	14,0
G12	2,81	4,63	4,54	3,98	1,82	1,05	25,7
G1	3,12	4,47	3,00	3,53	1,47	0,67	23,2
G3	2,74	4,18	2,61	3,18	1,57	0,76	27,4
HIP ₀₅	0,03	0,03	0,02	0,03	-	-	-

У більшості досліджуваних селекційних ліній і стандартів варіювання в роки досліджень маси головного стебла були значними (V=20,7–33,5%). При цьому мінливість ознаки сягала рівня 1,47–2,20 г. У напівкарликової лінії G11 (V=17,0%) і середньорослої G6 (V=14,0%) мінливість була середньою.

У 2011–2013 рр. на вияв і мінливість маси соломини головного стебла значний вплив мали досліджувані генотипи і метеорологічні умови року. Так, у напівкарликів у контрастні за метеорологічними умовами року маса соломини змінювалась від 0,73 г (G8) у 2011 р. до 1,79 г (G9) у 2012 р. У середньорослих генотипів маса соломини становила від 1,06 г у 2013 р. (G4, G5 і стандарту G1) до 1,99 г (G7) у 2013 р. (табл. 8).

Більшість досліджуваних селекційних ліній і стандарти за масою соломини головного стебла, у роки досліджень, характеризувалися значною мінливістю (V=20,5–35,9%). Лише в середньорослих ліній G6 і G10 мінливість була середньою (15,8% і 16,8% відповідно).

Таблиця 8

**Рівень вияву та варіабельність маси соломини головного стебла
у генотипів пшениці озимої**

Шифр	Маса соломини головного стебла, г				Параметри мінливості		
	2011 р.	2012 р.	2013 р.	— x	R	S ²	V, %
Напівкарлики							
G14	0,79	1,60	1,06	1,15	0,81	0,17	35,9
G13	0,98	1,76	1,48	1,41	0,78	0,16	28,4
G9	1,31	1,79	1,11	1,40	0,68	0,12	24,7
G8	0,73	1,47	1,06	1,09	0,74	0,14	34,3
G11	1,25	1,58	1,05	1,29	0,53	0,07	20,5
G2	0,90	1,45	0,85	1,07	0,60	0,11	31,0
НІР ₀₅	0,04	0,07	0,02	0,04	-	-	-
Середньорослі							
G4	1,24	1,79	1,06	1,36	0,73	0,14	27,5
G5	1,31	1,98	1,06	1,45	0,92	0,23	33,1
G10	1,07	1,49	1,43	1,33	0,42	0,05	16,8
G7	1,15	1,89	1,99	1,68	0,84	0,21	27,3
G6	1,38	1,83	1,45	1,55	0,45	0,06	15,8
G12	1,19	1,85	1,55	1,53	0,66	0,11	21,7
G1	1,25	1,89	1,06	1,40	0,83	0,19	31,1
G3	1,12	1,55	0,92	1,20	0,63	0,10	26,4
НІР ₀₅	0,05	0,06	0,04	0,05	-	-	-

**2. Вияв і мінливість у генотипів пшениці м'якої селекційних
індексів і їх кореляційний взаємозв'язок з елементами
структури врожайності**

Показники FSJ в роки досліджень у напівкарликів і середньорослих генотипів мали значну диференціацію. Винятком був 2013 р., коли середньорослі генотипи формували довжину стебла на рівні напівкарликів. Найвищий середній FSJ був визначений у 2013 р. і становив 57,51 (min=44,95; max=65,72) у напівкарликів і 56,32 (min=46,30; max=69,83) – середньорослих форм. Мінімальний середній показник FSJ (51,90) встановлено у напівкарликів в умовах 2012 р. (min=46,14; max=57,25), а у середньорослих генотипів (min=32,75; max=43,93) за середнього 39,03 у 2011 р. Амплітуда мінливості середнього значення FSJ за роки досліджень у напівкарликів склала 5,61, а середньорослих генотипів – 17,29. Перевищення за розмахом варіювання FSJ більше ніж утричі середньорослих форм над напівкарликами ми пов'язуємо

з екстремальними погодними умовами 2013 р., що необхідно враховувати в оцінці селекційного матеріалу (табл. 9).

Таблиця 9

Рівень вияву та варіабельність фіно-скандинавського індексу в генотипів пшениці озимої

Шифр	FSJ				Параметри мінливості		
	2011 р.	2012 р.	2013 р.	\bar{x}	R	S ²	V, %
Напівкарлики							
G14	47,98	49,60	56,67	51,42	8,69	21,35	9,0
G13	54,01	50,25	64,49	56,25	14,24	54,46	13,1
G9	67,95	51,36	65,72	61,68	16,59	81,07	14,6
G8	53,07	46,14	55,49	51,57	9,35	23,55	9,4
G11	52,71	57,25	44,95	51,64	12,30	38,69	12,0
G2	56,84	56,81	57,76	57,14	0,95	0,29	0,9
Середньорослі							
G4	40,06	44,22	51,82	45,37	11,76	35,56	13,1
G5	43,94	38,77	60,60	47,77	21,83	130,14	23,9
G10	36,81	29,21	69,83	45,28	40,62	466,34	47,7
G7	32,75	36,06	52,65	40,49	19,90	113,70	26,3
G6	38,16	43,19	50,23	43,86	12,07	36,76	13,8
G12	38,71	50,00	66,51	51,74	27,80	195,48	27,0
G1	40,32	40,76	52,61	44,56	12,29	48,61	15,6
G3	41,52	48,25	46,30	45,36	6,73	11,99	7,6

Коефіцієнт варіації FSJ у напівкарликів змінювався від незначного 0,9% (стандарт G2) до середнього 14,6% (G9), у середньому в групі – 9,8%. При цьому в середньорослих форм мінливість коефіцієнта варіації FSJ складала (7,6–47,7%), за середнього показника 21,9%.

Зернова продуктивність залежить від стійкості сорту до біотичних і абіотичних стресових умов навколишнього середовища, а тому селекційні індекси, що відображають зернову продуктивність, прямо або побічно вказують на адаптивні властивості сорту³⁷.

Тісні кореляційні взаємозв'язки на рівні сильних і дуже сильних (близьких до функціональних) у роки досліджень встановлено нами

³⁷ Плиско Л.Г., Пакуль В.Н. Оценка селекционных линий яровой мягкой пшеницы по селекционным индексам. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2017. № 12(66). С. 127-130.

між FSJ і одним із його компонентів (кількістю зерен із головного колосу) у напівкарликів ($r=0,760-0,905$) і в середньорослих генотипів ($r=0,774-0,962$). Між FSJ і другим складником індексу (довжиною головного стебла) кореляційні взаємозв'язки були нестабільними зі зміною знака (табл. 10).

Таблиця 10

Кореляційні взаємозв'язки фіно-скандинавського індексу з елементами структури врожайності

Елементи структури врожайності	Напівкарлики			Середньорослі		
	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2011 р.	2012 р.	2013 р.
Урожайність зерна	$r=0,567$	$r=0,789$	$r=-0,050$	$r=0,497$	$r=0,858$	$r=0,714$
Довжина головного стебла	$r=0,592$	$r=0,084$	$r=-0,358$	$r=0,-608$	$r=-0,427$	$r=0,157$
Головний колос: Довжина колосу	$r=0,535$	$r=0,112$	$r=0,569$	$r=-0,151$	$r=0,180$	$r=0,186$
Кількість колосків	$r=0,856$	$r=0,448$	$r=0,777$	$r=0,129$	$r=0,623$	$r=0,162$
Кількість зерен	$r=0,894$	$r=0,760$	$r=0,905$	$r=0,774$	$r=0,962$	$r=0,813$
Кількість зерен у колоску	$r=0,783$	$r=0,532$	$r=0,631$	$r=0,572$	$r=0,837$	$r=0,894$
Маса зерна з колосу	$r=0,704$	$r=0,557$	$r=0,420$	$r=0,566$	$r=0,954$	$r=0,719$
Маса 1000 зерен	$r=0,199$	$r=0,207$	$r=-0,600$	$r=0,224$	$r=0,563$	$r=0,331$
Кількість зерен із рослини	$r=0,675$	$r=0,480$	$r=-0,078$	$r=0,225$	$r=0,814$	$r=0,831$
Маса зерна з рослини	$r=0,552$	$r=0,602$	$r=-0,357$	$r=0,420$	$r=0,838$	$r=0,806$

Між урожайністю зерна і FSJ у середньорослих форм встановлено безпосередню кореляційну взаємозалежність, що коливалась від помірної ($r=0,497$) у 2011 р. до сильної ($r=0,714$; $r=0,858$) у подальші роки. У напівкарликів кореляційний зв'язок змінювався від від'ємного слабкого ($r=-0,050$) у 2013 р. до прямого значного ($r=0,567$) і сильного ($r=0,789$) у 2011 р. та 2012 р. відповідно.

На рівні прямого значного і сильного встановлені кореляційні взаємозв'язки FSJ із кількістю зерен у колоску як у напівкарликів ($r=0,532-0,783$), так і в середньорослих форм ($r=0,572-0,894$). Між

FSJ і масою зерна з колосу в напівкарликів відмічена кореляція на рівні помірної і значної ($r=0,420-0,704$), а у середньорослих генотипів від значної до дуже сильної, близької до функціональної ($r=0,566-0,954$).

Від прямого помірної до сильного встановлені кореляційні взаємозв'язки між FSJ і кількістю колосків у колосі у напівкарликів і масою зерна з рослини у середньорослих генотипів.

У 2011–2012 рр. показники MJ, як і FSJ, мали значну диференціацію між генотипами, які входили в ту чи іншу групу як за висотою рослин, так і за середнім значенням напівкарликів і середньорослих форм. Так, у 2011 р. у середньому за напівкарликами MJ (1,91) середньорослі генотипи мали показник на рівні 1,49 (табл. 11).

Таблиця 11

Рівень вияву та варіабельність мексиканського індексу в генотипів пшениці озимої

Шифр	MJ				Параметри мінливості		
	2011 р.	2012 р.	2013 р.	\bar{x}	R	S ²	V, %
Напівкарлики							
G14	1,66	2,50	2,71	2,29	1,05	0,309	24,3
G13	1,61	2,18	2,77	2,19	1,16	0,336	26,5
G9	2,54	2,38	2,55	2,49	0,17	0,009	3,8
G8	1,76	1,72	2,43	1,97	0,71	0,159	20,2
G11	2,23	2,42	2,12	2,26	0,30	0,023	6,7
G2	1,64	2,52	2,10	2,09	0,88	0,194	21,7
Середньорослі							
G4	1,66	2,24	2,05	1,98	0,58	0,087	14,9
G5	1,70	1,81	2,36	1,96	0,66	0,125	18,0
G10	1,22	1,25	3,13	1,87	1,91	1,197	58,5
G7	1,22	1,72	2,40	1,78	1,18	0,351	33,3
G6	1,57	1,92	2,27	1,92	0,70	0,123	18,3
G12	1,43	2,47	2,85	2,25	1,42	0,540	32,7
G1	1,66	2,03	2,10	1,93	0,44	0,056	12,3
G3	1,47	2,37	1,75	1,86	0,90	0,212	24,8

У 2012 р. визначені значно вищі середні за групами значення MJ, які були на рівні 2,29 у напівкарликів і 1,98 – середньорослих форм. Найвищий середній за групами MJ встановлено у 2013 р. – 2,45 (min=2,10; max=2,77) у напівкарликів і 2,36 (min=1,75; max=3,13) –

середньорослі форми. Розмах мінливості середнього значення МЖ, за 2011–2013 рр. середньорослих генотипів (0,87) перевищував у 1,6 рази показник напівкарликів (0,54), що також зумовлено екстремальними погодними умовами 2013 р.

Коефіцієнт варіації МЖ у напівкарликів встановлено в межах від незначного 3,8% (G9) до значного 26,5% (G13), за середнього – 17,2%. У середньорослих генотипів мінливість коефіцієнта варіації МЖ становила (12,3–58,5%), у середньому в групі – 26,6%. Таким чином, варіювання МЖ було значно вищим, ніж FSJ, як у напівкарликів, так і в середньорослих форм.

Встановлено, що МЖ у 2011–2013 рр. мав прямі кореляційні взаємозв'язки на рівні дуже сильних, близьких до функціональних ($r=0,908-0,973$) з масою зерна головного колосу (як у напівкарликів, так і в середньорослих форм). Між довжиною головного стебла і МЖ кореляційні взаємозв'язки були нестабільними, а в середньорослих форм зі зміною знака (табл. 12).

Таблиця 12

Кореляційні взаємозв'язки мексиканського індексу з елементами структури врожайності

Елементи структури врожайності	Напівкарлики			Середньорослі		
	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2011 р.	2012 р.	2013 р.
Врожайність зерна	$r=0,908$	$r=0,762$	$r=0,592$	$r=0,707$	$r=0,847$	$r=0,796$
Довжина головного стебла	$r=0,817$	$r=0,436$	$r=0,164$	$r=-0,248$	$r=-0,468$	$r=0,478$
Головний колос: Довжина колосу	$r=0,543$	$r=0,431$	$r=0,771$	$r=-0,060$	$r=0,150$	$r=0,471$
Кількість колосків	$r=0,464$	$r=0,512$	$r=0,254$	$r=0,131$	$r=0,545$	$r=0,395$
Кількість зерен	$r=0,721$	$r=0,785$	$r=0,776$	$r=0,815$	$r=0,931$	$r=0,956$
Кількість зерен в колоску	$r=0,891$	$r=0,507$	$r=0,997$	$r=0,594$	$r=0,840$	$r=0,951$
Маса зерна з колосу	$r=0,964$	$r=0,921$	$r=0,921$	$r=0,908$	$r=0,973$	$r=0,914$
Маса 1000 зерен	$r=0,846$	$r=0,817$	$r=0,216$	$r=0,754$	$r=0,696$	$r=0,642$
Кількість зерен з рослини	$r=0,575$	$r=0,409$	$r=0,656$	$r=0,414$	$r=0,734$	$r=0,874$
Маса зерна з рослини	$r=0,844$	$r=0,781$	$r=0,453$	$r=0,759$	$r=0,828$	$r=0,911$

Між MJ і врожайністю зерна прямиї кореляційний взаємозв'язок у напівкарликів визначено від значного до дуже сильного, близького до функціонального ($r=0,592-0,908$), а в середньорослих форм – на рівні сильного ($r=0,707-0,847$), що вказує на значний вплив досліджуваного індексу на врожайність зерна. Тісний прямиї і стабільний кореляційний взаємозв'язок визначено між MJ і: кількістю зерен у головному колосі ($r=0,721-0,956$); кількістю зерен у колоску ($r=0,507-0,997$) в обох групах за висотою рослин та масою 1000 зерен ($r=0,642-0,754$), масою зерна з рослини ($r=0,759-0,911$) у середньорослих генотипів.

Залежно від метеорологічних умов, що склалися у 2011–2013 рр., і досліджуваних генотипів показники JP значно змінювалися. В усі роки досліджень JP був значно вищим у напівкарликів (від 50,77 у 2011 р. до 77,90 у 2013 р.) порівняно із середньорослими генотипами (42,56–68,94). Аналогічно до FSJ і MJ у 2013 р. значно зросли показники JP в усіх генотипах. При цьому розмах мінливості середнього значення JP напівкарликів (27,13) був дещо вищим за показник середньорослих форм (26,38) (табл. 13).

Таблиця 13

Рівень вияву та варіабельність індексу перспективності у генотипів пшениці озимої

Шифр	JP				Параметри мінливості		
	2011 р.	2012 р.	2013 р.	\bar{x}	R	S ²	V, %
Напівкарлики							
G14	57,22	66,62	87,41	70,42	30,19	238,67	21,9
G13	42,04	52,26	76,44	56,91	34,40	312,08	31,0
G9	49,58	57,37	69,57	58,84	19,99	101,52	17,1
G8	57,78	57,59	79,83	65,07	22,24	163,48	19,6
G11	56,73	58,27	80,05	65,02	23,32	170,09	20,1
G2	41,27	62,75	74,12	59,38	32,85	278,30	28,1
Середньорослі							
G4	47,72	60,54	78,48	62,25	30,76	238,73	24,8
G5	44,45	54,98	72,67	57,37	28,22	203,36	24,9
G10	38,54	46,59	68,94	51,36	30,40	248,08	30,7
G7	39,03	51,96	62,02	51,00	22,99	132,82	22,6
G6	41,53	48,06	65,72	51,77	24,19	156,61	24,2
G12	40,04	53,27	67,18	53,50	27,14	184,18	25,4
G1	47,72	53,27	68,15	56,38	20,43	111,60	18,7
G3	41,46	59,29	68,39	56,38	26,93	187,66	24,3

Середні коефіцієнти варіації JP напівкарликів (23,0%) і середньорослих генотипів (24,5%) були близькими. При цьому мінливість коефіцієнта варіації JP складала у напівкарликів 17,1–31,0%, а в середньорослих форм – 18,7–30,7%.

На рівні прямого значного і сильного визначено кореляційні взаємозв'язки в роки досліджень JP із масою 1000 зерен як складником селекційного індексу, у напівкарликів ($r=0,647-0,839$) і сильного у 2011–2012 рр. ($r=0,782-0,882$) у середньорослих генотипів. За висоти стебла у 2013 р. на рівні напівкарликів у середньорослих форм встановлено значну від'ємну кореляцію ($r=-0,580$) між цими ознаками. Між JP і довжиною головного стебла кореляційні взаємозв'язки були нестабільними, а в середньорослих форм у 2012–2013 рр. – зворотними. сягаючи сильних ($r=-0,800; -0,860$) (табл. 14).

Таблиця 14

Кореляційні взаємозв'язки індексу перспективності з елементами структури врожайності

Елементи структури врожайності	Напівкарлики			Середньорослі		
	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2011 р.	2012 р.	2013 р.
Врожайність зерна	$r=0,346$	$r=-0,012$	$r=0,520$	$r=0,386$	$r=0,481$	$r=-0,296$
Довжина головного стебла	$r=0,249$	$r=-0,353$	$r=0,188$	$r=-0,402$	$r=-0,800$	$r=-0,860$
Головний колос:						
Довжина колосу	$r=-0,322$	$r=-0,184$	$r=-0,176$	$r=-0,145$	$r=-0,335$	$r=-0,848$
Кількість колосків	$r=-0,503$	$r=-0,260$	$r=-0,891$	$r=0,014$	$r=0,216$	$r=-0,585$
Кількість зерен	$r=-0,219$	$r=-0,132$	$r=-0,458$	$r=0,425$	$r=0,421$	$r=-0,483$
Кількість зерен у колоску	$r=0,097$	$r=0,156$	$r=0,231$	$r=0,350$	$r=0,377$	$r=-0,276$
Маса зерна з колосу	$r=0,311$	$r=0,224$	$r=0,236$	$r=0,697$	$r=0,590$	$r=-0,543$
Маса 1000 зерен	$r=0,772$	$r=0,647$	$r=0,839$	$r=0,782$	$r=0,882$	$r=-0,580$
Кількість зерен із рослини	$r=-0,349$	$r=-0,402$	$r=0,628$	$r=0,048$	$r=0,152$	$r=-0,316$
Маса зерна з рослини	$r=0,165$	$r=0,001$	$r=0,788$	$r=0,494$	$r=0,477$	$r=-0,372$

Між JP і елементами структури врожайності кореляційні взаємозв'язки у роки досліджень були не дуже суттєвими від прямих до зворотних.

Установлено значний вплив метеорологічних умов і генотипу на вияв JJ в роки досліджень. Залежно від умов року середній за

групами JJ збільшувався від 4,03 (2011 р.) до 5,87 (2013 р.) у напівкарликів і від 3,25 (2011 р.) до 5,89 (2013 р.) в середньорослих форм. Слід зазначити, що напівкарлики і середньорослі генотипи у 2013 р. мали на одному рівні (значно вищий порівняно з минулими роками) середній за групами JJ (табл. 15).

Таблиця 15

**Рівень вияву та варіабельність індексу інтенсивності
у генотипів пшениці озимої**

Шифр	JJ				Параметри мінливості		
	2011 р.	2012 р.	2013 р.	\bar{x}	R	S ²	V, %
Напівкарлики							
G14	3,47	5,74	5,94	5,05	2,47	1,882	27,2
G13	4,23	5,35	7,41	5,66	3,18	2,602	28,5
G9	4,91	6,17	5,81	5,63	1,26	0,421	11,5
G8	3,57	5,45	6,00	5,01	2,43	1,624	25,4
G11	4,47	5,68	5,00	5,05	1,21	0,368	12,0
G2	3,50	5,70	5,08	4,76	2,20	1,287	23,8
Середньорослі							
G4	3,18	5,32	5,62	4,71	2,44	1,771	28,3
G5	3,76	5,46	5,87	5,03	2,11	1,252	22,2
G10	2,89	3,71	6,18	4,26	3,29	2,933	40,2
G7	2,79	4,62	6,65	4,69	3,86	3,728	41,2
G6	3,42	4,80	5,77	4,66	2,35	1,395	25,3
G12	3,10	5,21	7,07	5,13	3,97	3,945	38,7
G1	3,62	4,95	5,20	4,59	1,58	0,721	18,5
G3	3,20	5,15	4,72	4,36	1,95	1,050	23,5

Середній коефіцієнт варіації JJ у напівкарликах (21,4%) поступався середньорослим генотипам (29,7%) за мінливості 11,5–28,5% і 18,5–40,2% відповідно.

Дослідження свідчать, що у 2011–2013 рр. між JJ і його складниками, довжиною стебла і масою головного стебла кореляційні взаємозв'язки характеризувалися як нестійкі (табл. 16).

Між урожайністю зерна і JJ визначено прямі кореляційні взаємозв'язки на рівні слабких (2012–2013 рр.) і значних (2011 р.) у напівкарликів та помірних (2013 р.), значних (2012 р.) і сильних (2011 р.) у середньорослих форм. Таким чином, окрім несприятливого 2013 р., середньорослі форми між цими показниками мали більшу взаємозалежність порівняно з напівкарликами.

Таблиця 16

**Кореляційні взаємозв'язки індексу інтенсивності
з елементами структури врожайності і масою головного стебла**

Елементи структури врожайності	Напівкарлики			Середньорослі		
	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2011 р.	2012 р.	2013 р.
Врожайність зерна	$r=0,670$	$r=0,022$	$r=0,212$	$r=0,740$	$r=0,667$	$r=0,317$
Довжина головного стебла	$r=0,479$	$r=0,269$	$r=0,126$	$r=-0,221$	$r=-0,565$	$r=0,599$
Головний колос: Довжина колосу	$r=0,861$	$r=0,411$	$r=0,883$	$r=-0,245$	$r=-0,232$	$r=0,698$
Кількість колосків	$r=0,652$	$r=0,630$	$r=0,356$	$r=-0,106$	$r=0,190$	$r=0,711$
Кількість зерен	$r=0,772$	$r=0,355$	$r=0,744$	$r=0,839$	$r=0,677$	$r=0,819$
Кількість зерен в колоску	$r=0,790$	$r=-0,205$	$r=0,821$	$r=0,789$	$r=0,717$	$r=0,631$
Маса зерна з колосу	$r=0,844$	$r=0,524$	$r=0,789$	$r=0,818$	$r=0,741$	$r=0,809$
Маса 1000 зерен	$r=0,591$	$r=0,535$	$r=0,058$	$r=0,567$	$r=0,718$	$r=0,694$
Кількість зерен з рослини	$r=0,666$	$r=-0,311$	$r=0,447$	$r=0,526$	$r=0,514$	$r=0,518$
Маса зерна з рослини	$r=0,772$	$r=0,065$	$r=0,258$	$r=0,753$	$r=0,683$	$r=0,809$
Маса головного стебла	$r=0,887$	$r=0,334$	$r=-0,023$	$r=0,561$	$r=0,694$	$r=0,325$

Позитивні і більш тісні кореляційні взаємозв'язки JJ у напівкарликів у роки досліджень встановлено з довжиною головного колосу ($r=0,411-0,883$) і масою зерна з колосу ($r=0,524-0,844$), а в середньорослих форм: з кількістю зерен у головному колосі ($r=0,677-0,839$) і колоску ($r=0,631-0,789$); масою зерна з колосу ($r=0,741-0,818$); масою 1000 зерен ($r=0,567-0,718$); кількістю зерен з рослини ($r=0,514-0,526$) і їх масою ($r=0,683-0,809$).

Отримані експериментальні дані свідчать про значно більший вплив JJ середньорослих генотипів на формування елементів продуктивності і врожайності зерна пшениці м'якої озимої.

Формування JS , як і всіх попередніх індексів у роки досліджень, відбувалось під впливом генотипу і метеорологічних умов. При цьому середні показники JS у 2011–2013 рр. у напівкарликах (1,44–2,20) і середньорослих генотипах (1,35–2,13) були більш

близькими. Розмах мінливості JS напівкарликів склав 0,76 за коефіцієнта варіації (22,4%), а середньорослих форм – 0,78 ($V=24,4\%$). У 2011–2012 рр. середнє значення JS напівкарликової групи було більшим за показники середньорослої вибірки, а в умовах 2013 р. – навпаки (табл. 17).

Таблиця 17

**Рівень вияву та варіабельність індексу сили соломини
у генотипів пшениці озимої**

Селекційні номери	JS			Параметри мінливості			
	2011 р.	2012 р.	2013 р.	\bar{x}	R	S ²	V, %
Напівкарлики							
17 КС	1,30	2,16	1,94	1,80	0,86	0,200	24,8
22 КС	1,39	2,21	2,65	2,08	1,26	0,409	30,7
24 КС	1,74	2,29	1,99	2,01	0,55	0,076	13,7
26 КС	1,27	2,28	1,95	1,83	1,01	0,265	28,1
44 КС	1,69	2,17	1,77	1,88	0,48	0,066	13,7
БЦ н/к. (St)	1,30	2,10	1,72	1,71	0,80	0,160	23,4
Середньорослі							
7 КС	1,42	2,08	2,07	1,86	0,66	0,143	20,3
8 КС	1,50	2,35	2,00	1,95	0,85	0,183	21,9
12 КС	1,25	1,65	2,20	1,70	0,95	0,228	28,1
29 КС	1,19	2,06	2,70	1,98	1,51	0,574	38,3
42 КС	1,41	1,97	2,11	1,83	0,70	0,137	20,2
54 КС	1,31	2,08	2,42	1,94	1,11	0,323	29,3
Пер. лис.(St)	1,45	2,09	1,84	1,79	0,64	0,104	18,0
Под.(St)	1,30	1,91	1,67	1,63	0,61	0,094	18,8

У 2011–2013 рр. між JS і масою соломини як складником індексу в напівкарликів визначені прямі кореляційні взаємозв'язки на рівні помірного ($r=0,455$) у 2012 р. і дуже тісного, близького до функціонального ($r=0,973$; $r=0,964$) у 2011 і 2013 рр. відповідно. Середньорослі генотипи між цими показниками мали кореляцію на рівні сильної і дуже сильної, близької до функціональної ($r=0,783$ – $r=0,944$), що вказує на більш тісну взаємозалежність порівняно з напівкарликами. Між JS і довжиною головного стебла кореляційні взаємозв'язки мали значну диференціацію як у напівкарликів, так і в середньорослих форм (табл. 18).

**Кореляційні взаємозв'язки індексу сили соломини
з елементами структури врожайності і масою соломини**

Елементи структури врожайності	Напівкарлики			Середньорослі		
	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2011 р.	2012 р.	2013 р.
Врожайність зерна	$r=0,916$	$r=-0,666$	$r=0,121$	$r=0,719$	$r=0,333$	$r=0,215$
Довжина головного стебла	$r=0,777$	$r=0,109$	$r=0,217$	$r=-0,252$	$r=-0,248$	$r=0,743$
Головний колос: Довжина колосу	$r=0,783$	$r=0,197$	$r=0,936$	$r=-0,227$	$r=-0,222$	$r=0,825$
Кількість колосків	$r=0,534$	$r=0,042$	$r=0,434$	$r=-0,005$	$r=-0,257$	$r=0,763$
Кількість зерен	$r=0,760$	$r=-0,393$	$r=0,734$	$r=0,807$	$r=0,331$	$r=0,706$
Кількість зерен у колоску	$r=0,914$	$r=-0,585$	$r=0,715$	$r=0,687$	$r=0,540$	$r=0,472$
Маса зерна з колосу	$r=0,975$	$r=-0,423$	$r=0,751$	$r=0,875$	$r=0,389$	$r=0,752$
Маса 1000 зерен	$r=0,829$	$r=-0,395$	$r=0,033$	$r=0,687$	$r=0,509$	$r=0,795$
Кількість зерен із рослини	$r=0,715$	$r=-0,428$	$r=0,336$	$r=0,526$	$r=0,247$	$r=0,374$
Маса зерна з рослини	$r=0,942$	$r=-0,585$	$r=0,165$	$r=0,776$	$r=0,392$	$r=0,485$
Маса соломини	$r=0,973$	$r=0,455$	$r=0,964$	$r=0,783$	$r=0,891$	$r=0,944$

Між урожайністю зерна і JS кореляційні взаємозв'язки значно модифікувалися умовами року і змінювалися від від'ємного сильного ($r=-0,666$) до прямого дуже сильного, близького до функціонального ($r=0,916$) у напівкарликів і від прямого слабкого ($r=0,215$) до сильного ($r=0,719$) у середньорослих генотипів.

Позитивні більш тісні кореляційні взаємозв'язки JS у 2011–2013 рр. встановлено тільки у середньорослих форм із такими елементами структури врожайності: кількістю зерен в колоску ($r=0,472-0,687$); масою 1000 зерен ($r=0,509-0,795$).

ВИСНОВКИ

1. Аналіз отриманих експериментальних даних свідчать, що вияв і мінливість довжини головного стебла, кількості зерен і маси: зерна з головного колосу, 1000 зерен, головного стебла і соломини в контрастні за гідротермічними умовами 2011–2013 рр. значно зумовлені генотипом, умовами року і взаємодією «генотип-умови року».

2. Показники селекційних індексів (фіно-скандинавського, мексиканського, перспективності, інтенсивності та сили соломини) варіювали як у межах генотипу, так і в роки досліджень. При цьому в напівкарликів, окрім індексу сили соломини, визначені значно вищі значення селекційних індексів порівняно із середньорослими генотипами. В екстремальному за метеорологічними умовами 2013 р. показники селекційних індексів були значно вищими порівняно з 2011 і 2012 роками.

3. У напівкарликів коефіцієнти варіації фіно-скандинавського індексу, мексиканського, інтенсивності та індексу сили соломини значно поступалися показникам середньорослих генотипів. При цьому показники індексу перспективності були близькими.

4. Тісні й стабільні прямі кореляційні взаємозв'язки у напівкарликів і середньорослих форм встановлено між селекційними індексами і такими їх складниками: фіно-скандинавським індексом із кількістю зерен ($r=0,760-0,962$); мексиканським індексом із масою зерна головного колосу ($r=0,908-0,973$); індексом перспективності з масою 1000 зерен ($r=0,647-0,882$) та середньорослими формами індексу сили соломини з масою соломини ($r=0,783-r=0,944$).

5. Найбільш інформативним (як у напівкарликів так і середньорослих генотипів) виявився мексиканський індекс, який мав тісні прямі кореляційні взаємозв'язки з урожайністю пшениці м'якої озимої і більшістю її складників. Для середньорослих генотипів більш ефективними (порівняно з напівкарликами) також були фіно-скандинавський індекс та індекс інтенсивності.

АНОТАЦІЯ

В умовах Білоцерківської дослідно-селекційної станції в контрастні за гідротермічними умовами 2011–2013 рр. досліджували селекційні лінії пшениці м'якої озимої, отримані індивідуальним добором із гібридних популяцій від схрещування батьківських компонентів різного еко типу. Встановлено, що вияв і мінливість селекційних індексів і їх складників зумовлені генотипом і значно модифікувалися метеорологічними умовами року. Середні показники селекційних індексів, окрім індексу сили соломини, напівкарликів значно перевищували значення середньорослих форм, а їх варіювання (окрім індексу перспективності) в роки досліджень було суттєво меншим.

Найбільш ефективним в оцінці селекційних ліній пшениці м'якої озимої виявився мексиканський індекс.

Література

1. Tadesse W., Sanchez-Garcia M., Assefa S.G., Amri A., Bishaw Z., Ogbonnaya F.C., Baum M. Genetic gains in wheatbreeding and its role in feeding the world. *Crop Breeding, Genetics and Genomics*. 2019. № 1. Article e190005. doi: 10.20900/cbgg20190005.

2. Venske E., dos Santos R.S., Busanello C., Gustafson P., de Oliviera A.C. Bread wheat: a role model for plant domestication and breeding. *Hereditas*. 2019. 156. 16. doi: 10.1186/s41065-019-0093-9.

3. FAO. Crop Prospects and Food Situation – Quarterly Global Report. 2019. № 4. 46 p. <http://www.fao.org/3/ca7236en.pdf>.

4. Hatfield J.L., Beres B.L. Yield gaps in wheat: path to enhancing productivity. *Frontiers in Plant Science*. 2019. № 10. Article 1603. doi: 10.3389/fpls.2019.01603

5. Laidig F., Piepho H.P., Rentel D., Drobek T., Meyer U., Huesken A. Breeding progress, environmental variation and correlation of winter wheat yield and quality traits in German official variety trials and on-farm during 1983–2014. *Theoretical and Applied Genetics*. 2017. № 130(5). pp. 223-245. doi: 10.1007/s00122-016-2810-3

6. Nehe A., Akin B., Sanal T., Evlice A.K., Uënsal R., Dincëer N., Demir L., Geren H., Sevim I., Orhan Ş., Yaktubay S., Ezici A., Guzman C., Morgounov A. Genotype × environment interaction and genetic gain for grain yield and grain quality traits in Turkish spring wheat released between 1964 and 2010. *PLoS ONE*. 2019. № 14(7). Article e0219432. doi: 10.1371/journal.pone.0219432.

7. Gilliham M., Able J.A., Roy S.J. Translating knowledge about abiotic stress tolerance to breeding programmes. *The Plant Journal*. 2017. № 90. pp. 898-917.

8. Macholdt J., Honermeier B. Yield stability in winter wheat production: a survey on german farmers' and advisors' views. *Agronomy*. 2017. № 7. Article 45. doi: 10.3390/agronomy7030045.

9. Araus J.L., Serret M.D., Lopes M.S. Transgenic solutions to increase yield and stability in wheat: shining hope or flash in the pan? *Journal of Experimental Botany*. 2019. № 70(5). pp. 1419–1424. doi: 10.1093/jxb/erz077.

10. Vlasenko V., Bakumenko O., Osmachko O., Bilokopytov V., Meng F., Humeniuk O. The usage perspectives of the Chinese current

wheat germplasm in the breeding of a new Ukrainian variety generation. *AgroLife Scientific Journal*. 2019. № 8(2). pp. 162–173.

11. Тищенко В.Н., Чекалин Н.М. Генетические основы адаптивной селекции озимой пшеницы в зоне Лесостепи. Полтава, 2005. 270 с.

12. Драгавцев В.А. Решения технологических задач селекционного повышения урожаев, вытекающие из теории эколого-генетической организации количественных признаков. *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 2019. Вып. 132. С. 17–28

13. Смиряев А.В., Гохман М.В. Биометрические методы в селекции растений. Москва, 1985. 215 с.

14. Филипченко Ю.А. Генетика мягких пшениц. Ленинград. Государственное издательство совхозной и колхозной литературы, 1934. С. 27–30.

15. Хоменко С.О., Федоренко І.В., Близнюк Р.М., Раченко О.С., Данюк Т.А. Оцінка сортів пшениці м'якої ярої за селекційними індексами. *Селекція і насінництво*. 2015. Вип. 108. С. 77–82. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2015.57354>.

16. Вертий Н.С., Титаренко А.В., Титаренко Л.П., Козлов А.А. Селекционные индексы в оценке ячменно-пшеничных гибридов. *Нива Поволжья*. 2016. № 2 (39). С. 9–15.

17. Плиско Л.Г., Пакуль В.Н. Оценка селекционных линий яровой мягкой пшеницы по селекционным индексам. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2017. № 12(66). С. 127–130.

18. Малокостова Е.И., Пивоварова И.Ю., Попова А.В. Оценка селекционных линий и сортов яровой пшеницы по селекционным индексам. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2019. № 1. С. 24–27.

19. Мальцева Л.Т., Филиппова Е.А., Банникова Н.Ю., Катаева Н.В. Эффективность отбора по селекционным индексам в контрастных условиях Зауралья. *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2020. № 2(54). С. 32–38. DOI 10.31563/1684-7628-2020-54-2-32-38.

20. Гужов Ю.Л., Кесаварао П.С., Велланки Р.К. Тритикале – достижения и перспективы селекции на основе математического моделирования : монография. Москва, 1987. 232 с.

21. Рокицкий П.Ф. Биологическая статистика. Минск, 1973. 320 с.

22. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва, 1985. 351 с.

23. Szamak I. Breeding of dwarf wheat by means of three indexes breaking correlations. *Cereal research Communications*. 1979. Vol. 7. № 3. pp. 215–226.

24. Тищенко В.Н. Влияние сроков посева на изменчивость хозяйственно-ценных признаков у гибридных линий (F₅) озимой пшеницы. *Вісник полтавської державної аграрної академії*. 2002. № 4. С. 5–8.

25. Шульгин А.М. Агрометеорология и агроклиматология. Ленинград, 1978. 200 с.

26. Алиева А.Д. Характер наследования высоты растений у гибридов пшеницы, полученных с участием карликового сорта AI-BIAN 1. *Генетические ресурсы культурных растений. Проблемы эволюции и систематики. Под общей ред. д-ра биол. наук, проф. НИ Дзюбенко*. Санкт-Петербург, 2009. С. 251–254.

27. Борисенко В.А., Грицевич Г.М., Лісничук Г.М., Савчук О.І. Селекція озимої пшениці в умовах Західного лісостепу України. *Генетика і селекція в Україні на межі тисячоліть: У 4 т. Редкол.: В.В. Морзун (голов. ред.) та ін.* Київ, 2001. Т. 2. С. 474–480.

28. Орлюк А.П. Генетика пшениці з основами селекції. Херсон, 2012. 436 с.

29. Шпаар Д. Зерновые культуры: выращивание, уборка, хранение и использование. Киев, 2012. 704 с.

30. Широкий унифицированный классификатор СЭВ рода *Triticum* L. Ленинград, 1989. 44 с.

31. Манукян И.Р., Басиева М.А., Мирошникова Е.С., Абиев В.Б. Использование нового индекса продуктивности растений для оценки селекционного материала озимой пшеницы. *Нива Поволжья*. 2019. № 2(51). С. 47–52.

32. Куперман Ф.И. Биология развития культурных растений. Москва, 1982. 343 с.

33. Liu G., Jia L., Lu L., Qin D., Zhang J., Guan P., Yao Y., Sun Q., Peng H. Mapping QTLs of yield-related traits using RIL population derived from common wheat and Tibetan semi-wild wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2014. № 127(11). pp. 2415–2432. doi:10.1007/s00122-014-2387-7.

34. Wang L., Ge H., Hao C., Dong Y., Zhang X. Identifying Loci Influencing 1,000-kernel weight in wheat by microsatellite screening for evidence of selection during breeding. *PLoS ONE*. 2012. № 7(2). doi:10.1371/journal.pone.0029432.

35. Zou J., Semagn K., Iqbal M., Chen H., Asif M., N'Diaye A., Navabi A., Perez-Lara E., Pozniak C., Yang R.-C., Randhawa H., Spaner D. QTLs associated with agronomic traits in the Attila × CDC Go springwheat population evaluated under conventional management. *PLoS ONE*. 2017. № 12 (2). Article e0171528. doi:10.1371/journal.pone.0171528.

36. Jin J., Liu D., Qi Y., Ma J., Zhen W. Major QTL for seven yield-related traits in commonwheat (*Triticum aestivum* L.). *Frontiers in Genetics*. 2020. № 11. Article 1012. doi: 10.3389/fgene.2020.01012.

Information about the authors:

Lozinskyi Mykola Vladyslavovych,

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,

Head of the Department of Genetics, Breeding

and Seed Production of Crops

Bila Tserkva National Agrarian University

8/1, Soborna square, Bila Tserkva, Kyiv region, 09117, Ukraine

Grabovskyi Mykola Borysovych,

Doctor of Agricultural Sciences, Professor,

Head of the Department of Technologies in Crop Production

and Plant Protection

Bila Tserkva National Agrarian University

8/1, Soborna square, Bila Tserkva, Kyiv region, 09117, Ukraine