

УДК 633.11:631.95:575.21

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.37>

ФОРМУВАННЯ КЛЮЧОВИХ ОЗНАК ВРОЖАЙНОСТІ ТА ЯКОСТІ У НОВИХ СОРТІВ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

Хорошу І.В. – к.с.-г.н.,

докторант кафедри селекції і насінництва,

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Назаренко М.М. – д.с.-г.н.,

професор кафедри селекції і насінництва,

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Розвиток сортів, агротехнічні нововведення та активна наукова діяльність стали ключовими факторами успіху в підвищенні продуктивності та стабільності виробництва пшениці на глобальному рівні. В умовах науково-дослідного поля науково-освітнього центру практичної підготовки Дніпровського державного аграрно-економічного університету проводили оцінку 15 сортів пшениці озимої української селекції від різних науково-дослідних установ України та світу. Ділянки випробування досліду були розміщені регулярним чином зі схемою посіву у трикратній повторності, площа 10 м² кожної. Оцінювали врожайність, її структуру, вміст білку в зерні, вміст білкових компонентів. Оцінювали у 2021–2023-му роках сорти ЛГ Квадрант, ЛГ Магірус, ЛГ ЛІТО-ПИС (Франція), Мавка ІР, Мазурок, Аліот, Мейсса, Слава Унави, Золото Степу (Україна), Ормессон, Моментум, СТК21Г (Франція), ГІМАЛАЯ, ГІАЦИНТ, БХВ20ГВ0009 (Німеччина). Параметр врожайності залежав як від реалізації потенціалу сорту, так і від року вирощування, також достовірною була генотип-середовищна взаємодія. За результатами дослідження, до більш придатних з точки зору високої врожайності відносилися сорти Слава Унави, Ормессон, Моментум, СТК21Г, проміжне положення займали сорти ЛГ ЛІТОПИС, Золото Степу, ГІМАЛАЯ, ГІАЦИНТ. Більш контрастним для ознаки був 2022 рік, 2021 та 2023 достовірно відрізнялися між собою, але для них властива нижча диференціююча за ознакою врожайності. Варто виділити за врожайністю сорти як ЛГ ЛІТОПИС, Слава Унави, Золото Степу, Ормессон, СТК21Г, ГІМАЛАЯ, ГІАЦИНТ, Моментум. Сорти ЛГ ЛІТОПИС, Ормессон, СТК21Г, ГІМАЛАЯ, ГІАЦИНТ, Моментум формують врожайність за рахунок гарно розвиненого головного колосу, сорти Слава Унави та Золото Степу мають перевагу через вищу продуктивну куцистість. Сорти Слава Унави та Золото Степу мають високу продуктивність та задовільну якість, а тому загалом цілком відповідають потребам регіону. За компонентами запасних білків зерна позитивно виділився сорт Слава Унави. Показано два різні шляхи для реалізації генетично обумовленої вищої врожайності у сучасних сортах пшениці – за рахунок кращого головного колосу або вищої продуктивної куцистості. МТЗ є умовно-достатнім індикатором високої врожайності. За поєднанням високих врожайних та достатніх якісних параметрів можливе вирощування сортів Слава Унави, Золото Степу. Сорт Слава Унави демонструє поєднання в комплексі позитивних властивостей за складом запасних білків.

Ключові слова: пшениця озима, сорт, якість зерна, врожайність.

Khoroshun I.V., Nazarenko M.M. Development of key characters of yield and quality in new varieties of winter wheat

The development of varieties, agrotechnical innovations and active scientific activity have become key success factors in increasing the productivity and stability of wheat production at the global level. In the conditions of the scientific research field of the scientific and educational center of practical training of the Dnipro State Agrarian and Economic University, the assessment of 15 winter wheat varieties of ukrainian breeding from various scientific research institutions of Ukraine and of the world was carried out. The test plots of the experiment were placed in a regular manner with a seeding scheme in triplicate, an area of 10 m² each. The yield,

its structure, the content of protein in the grain, the content of protein components were evaluated. In 2021–2023, the varieties LG Quadrant, LG Magirus, LG LITOPIS (France), Mavka IR, Mazurok, Aliot, Meissa, Slava Unavyi, Zoloto Stepu (Ukraine), Ormesson, Momentum, STK21G (France), HIMALAYA, HYACINTH, БХВ20ГВ0009 (Germany). The yield parameter depended both on the realization of the potential of the variety and on the year of cultivation, and the genotype-environment interaction was also reliable. According to the results of the study, varieties Slava Unavyi, Ormesson, Momentum, STK21G were more suitable from the point of view of high yield, and intermediate positions were occupied by varieties LG LITOPIS, Zoloto Stepu, HIMALAYA, HYACINTH. The year 2022 was more contrasting for the trait, 2021 and 2023 were reliably different from each other, but they are characterized by a lower differentiating yield trait. It is worth highlighting varieties such as LG LITOPIS, Slava Unavyi, Zoloto Stepu, Ormesson, STK21G, HIMALAYA, HYACINTH, Momentum in terms of yield. Varieties LG LITOPIS, Ormesson, STK21G, HIMALAYA, HYACINTH, Momentum form productivity due to a well-developed main spike, varieties Slava Unavyi and Zoloto Stepu have an advantage due to higher productive bushiness. Varieties Slava Unavyi and Zoloto Stepu have high productivity and satisfactory quality, and therefore, in general, fully meet the needs of the region. The variety Slava Unavyi was positively distinguished by the components of spare grain proteins. Two different ways are shown for the implementation of genetically determined higher yield in modern wheat varieties – at the expense of a better main spike or higher productive bushiness. MTZ is a conditionally sufficient indicator of high yield. With a combination of high yields and sufficient quality parameters, it is possible to grow varieties Slava Unavyi, Zoloto Stepu. The variety Slava Unavyi demonstrates a combination of positive properties in the composition of reserve proteins.

Key words: winter wheat, variety, grain quality, yield.

Постановка проблеми. Прогрес у виробництві пшениці у 20–21 сторіччі роками є яскравим прикладом того, як інноваційні технології та адаптаційні стратегії можуть допомогти сільському господарству пристосуватися до змінних умов. Розвиток сортів, агротехнічні нововведення та активна наукова діяльність стали ключовими факторами успіху в підвищенні продуктивності та стабільності виробництва пшениці на глобальному рівні [1, 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Завдяки новим сортам і технологіям вдалося значно підвищити врожайність пшениці, навіть в умовах обмежених ресурсів [2]. Інновації дозволили вирощувати пшеницю в регіонах з раніше невідповідними кліматичними умовами [4, 8]. Зміна клімату є постійним процесом і впливає на різні галузі промисловості, включаючи сільське господарство [6].

Розробка нових сортів пшениці, стійких до хвороб, шкідників та екстремальних погодних умов, дозволила підвищити врожайність і розширити географію вирощування. Перш за все це селекція сортів з коротшим вегетаційним періодом, які здатні адаптуватися до різних кліматичних зон [5, 7].

За останнє століття записи показують, що середньорічна температура в районах, де вирощують кукурудзу, рис, пшеницю та сою, зросла на 1°C. Це підвищення температури призвело до значних змін у врожайності цих важливих сільськогосподарських культур [9].

Метою дослідження було встановити мінливість за сортовою та середовищною дисперсіями нових сортів пшениці для умов Степу.

Постановка завдання. В умовах науково-дослідного поля науково-освітнього центру практичної підготовки Дніпровського державного аграрно-економічного університету проводили оцінку сортів ЛГ Квадрант, ЛГ Магірус, ЛГ ЛІТОПІС, Мавка ІР, Мазурок, Аліот, Мейсса, Слава Унави, Золото Степу, Ормесон, Моментум, СТК21Г, ГІМАЛАЯ, ГІАЦИНТ, БХВ20ГВ0009. Ділянки випробування досліду були розміщені регулярним чином зі схемою посіву у трикратній

повторності, площа 10 м² кожної, посів стандарту однократно на експеримент. Норма висіву варіювала в залежності від визначеного параметру МТЗ. Структурний аналіз проводили обмірами та обмолотом 25–30 добре розвинених рослин, визначали такі параметри як відсоток зерна в загальній продуктивності, висоту рослини, вагу та кількість зерна з головного колосу, вагу зерна з рослини, масу тисячі зерен (туг і далі – МТЗ). Вміст білку визначали на приладі Спектран-119Р. Повторність досліджень була трикратна. Статистичну обробку проводили за факторним аналізом ANOVA, групування та класифікацію даних методом кластерного аналізу. В усіх випадках застосовували програму Statistic 10.0.

Виклад основного матеріалу дослідження. Врожайність даного набору сортів різного походження оцінювали у 2021–2023-му роках (таблиця 1). Проаналізували дану господарчо-цінну ознаку у сортів ЛГ Квадрант, ЛГ Магірус, ЛГ ЛІТОПИС (Франція), Мавка ІР, Мазурок, Аліот, Мейсса, Слава Унави, Золото Степу (Україна), Ормессон, Моментум, СТК21Г (Франція), ГІМАЛАЯ, ГІАЦИНТ, БХВ20ГВ0009 (Німеччина), всього 6 французьких, 3 німецьких та 6 українських зразків.

Таблиця 1

Врожайність сортів пшениці озимої

Сорт	Рік, т га ⁻¹			Середня
	2021	2022	2023	
ЛГ Квадрант	7,32 ± 0,19 ^a	8,65 ± 0,19 ^a	7,53 ± 0,17 ^a	7,83 ± 0,26 ^a
ЛГ Магірус	7,13 ± 0,21 ^a	8,66 ± 0,25 ^a	7,34 ± 0,23 ^a	7,71 ± 0,33 ^a
ЛГ ЛІТОПИС	8,02 ± 0,21 ^b	8,44 ± 0,17 ^a	8,34 ± 0,18 ^b	8,27 ± 0,31 ^{ab}
Мавка ІР	7,65 ± 0,21 ^a	7,30 ± 0,22 ^b	7,92 ± 0,18 ^{ab}	7,62 ± 0,26 ^a
Мазурок	6,99 ± 0,23 ^{ac}	7,88 ± 0,23 ^c	7,27 ± 0,18 ^a	7,38 ± 0,30 ^{ac}
Аліот	7,31 ± 0,21 ^a	8,08 ± 0,23 ^{ac}	7,56 ± 0,18 ^a	7,65 ± 0,31 ^a
Мейсса	7,00 ± 0,21 ^{ac}	7,86 ± 0,23 ^{ac}	7,24 ± 0,28 ^a	7,37 ± 0,29 ^a
Слава Унави	8,31 ± 0,22 ^b	9,80 ± 0,24 ^d	8,68 ± 0,18 ^b	8,93 ± 0,32 ^b
Золото Степу	8,02 ± 0,22 ^b	8,44 ± 0,23 ^a	8,34 ± 0,20 ^b	8,27 ± 0,28 ^{ab}
Ормессон	8,91 ± 0,21 ^d	9,38 ± 0,28 ^d	8,27 ± 0,19 ^b	8,85 ± 0,26 ^b
Моментум	9,14 ± 0,21 ^d	9,62 ± 0,28 ^d	9,50 ± 0,25 ^c	9,42 ± 0,29 ^b
СТК21Г	8,57 ± 0,21 ^{bd}	9,07 ± 0,28 ^c	8,95 ± 0,19 ^c	8,86 ± 0,27 ^b
ГІМАЛАЯ	8,34 ± 0,24 ^b	8,78 ± 0,27 ^{ac}	8,67 ± 0,20 ^{bc}	8,60 ± 0,31 ^{ab}
ГІАЦИНТ	8,05 ± 0,24 ^b	8,47 ± 0,26 ^a	8,37 ± 0,18 ^b	8,29 ± 0,26 ^{ab}
БХВ20ГВ0009	7,26 ± 0,21 ^a	7,64 ± 0,20 ^b	7,55 ± 0,21 ^a	7,48 ± 0,31 ^a

Примітка: різниця статистично достовірна за факторним аналізом ANOVA за концентраціями при $P_{0,05}$

Параметр врожайності залежав як від реалізації потенціалу сорту ($F = 18,21$; $F_{0,05} = 3,10$; $P < 0,01$), так і від року вирощування ($F = 34,87$; $F_{0,05} = 3,74$; $P < 0,01$), також достовірною була генотип-середовищна взаємодія ($F = 9,44$; $F_{0,05} = 6,04$; $P = 0,01$).

За результатами дослідження, до більш придатних з точки зору високої врожайності відносилися сорти Слава Унави, Ормессон, Моментум, СТК21Г ($F = 7,45$; $F_{0,05} = 3,24$; $P = 0,01$), проміжне положення займали сорти ЛГ ЛІТОПИС, Золото Степу, ГІМАЛАЯ, ГІАЦИНТ. Більш контрастним для ознаки був 2022 рік, 2021 та 2023 достовірно відрізнялися між собою, але для них властива нижча диференціююча за ознакою врожайності.

Для групування за врожайністю та класифікації сортів в залежності від мінливості за середовищною та спадковою компонентами провели класифікацію методом кластерного аналізу (Рис. 1).

До першої групи належать сорти ЛГ Квадрант, ЛГ Магірус, Мавка ІР, Мазурок, Аліот, Мейсса, БХВ20ГВ0009, що в цілому демонструють непогану стабільну врожайність для регіону, але не є кращими за цією ознакою. До другої групи належать сорти ЛГ ЛІТОПИС, Слава Унави, Золото Степу, Ормессон, СТК21Г, ГІМАЛАЯ, ГІАЦИНТ, що суттєво дещо переважають першу за окремими ознаками, але не є стабільними, займаючи проміжне положення між першою та третьою групою, з окремими піками за продуктивністю. До третьої мінорної сорт Моментум, що суттєво переважав інші, а реалізація його потенціалу не так суттєво залежала від природніх умов.

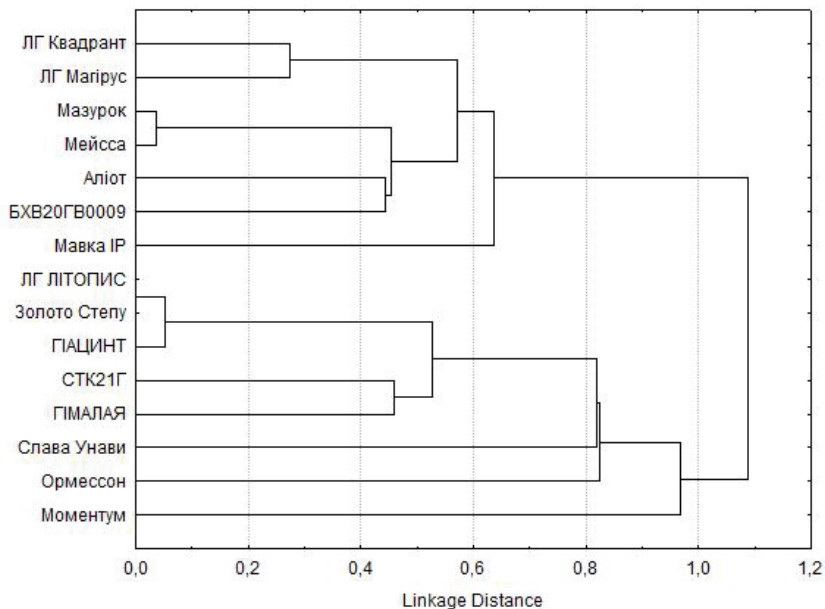


Рис. 1. Результати кластерного аналізу по врожайності

Таким чином варто виділити за врожайністю сорти як ЛГ ЛІТОПИС, Слава Унави, Золото Степу, Ормессон, СТК21Г, ГІМАЛАЯ, ГІАЦИНТ, Моментум, але усі крім сорту Моментум не є зовсім стабільними у прояві високої врожайності.

Для встановлення механізмів отримання вищої врожайності провели структурний аналіз основних компонентів цієї ознаки (таблиця 2) за наступними ознаками кількість та вага зерна з головного колосу, вага зерна з рослини, маса тисячі зерен (тут і далі – МТЗ). Показник кількості зерна з головного колосу занадто і його використання не дає додаткової інформації щодо формування врожайності.

Показник ваги зерна з головного колосу був більш значущим для врожайності сорту, ідентифіковано як кращі сорти ЛГ ЛІТОПИС, Ормессон, СТК21Г, ГІМАЛАЯ, ГІАЦИНТ, Моментум ($F = 5,09$; $F_{0,05} = 3,24$; $P = 0,03$).

Таблиця 2
Морфометричні параметри врожайних якостей сортів пшениці озимої
($\bar{x} \pm SD$, n = 25)

Сорт	З головного колосу		Вага зерна з рослини, г.	МТЗ, г.
	Кількість зерна, шт.	Вага зерна, шт.		
ЛГ Квадрант	28,8 ± 3,0 ^a	1,0 ± 0,2 ^a	1,7 ± 0,2 ^a	39,2 ± 0,9 ^a
ЛГ Магірус	29,0 ± 2,2 ^a	0,9 ± 0,2 ^a	1,8 ± 0,3 ^a	38,7 ± 0,9 ^a
ЛГ ЛІТОПИС	30,1 ± 2,5 ^a	1,6 ± 0,1 ^b	2,1 ± 0,2 ^a	38,8 ± 1,0 ^a
Мавка ІР	31,0 ± 2,2 ^{ab}	1,0 ± 0,2 ^a	1,8 ± 0,2 ^a	38,4 ± 0,9 ^a
Мазурок	31,1 ± 2,0 ^{ab}	1,1 ± 0,2 ^a	1,8 ± 0,2 ^a	42,4 ± 1,0 ^b
Аліот	31,3 ± 2,2 ^{ab}	1,0 ± 0,2 ^a	1,9 ± 0,2 ^a	39,1 ± 1,0 ^a
Мейсса	31,5 ± 2,1 ^{ab}	0,9 ± 0,2 ^a	1,6 ± 0,2 ^a	39,5 ± 1,1 ^a
Слава Унави	30,0 ± 2,0 ^a	1,5 ± 0,2 ^{ab}	2,8 ± 0,2 ^b	42,1 ± 0,9 ^b
Золото Степу	29,5 ± 3,0 ^a	1,5 ± 0,2 ^{ab}	2,8 ± 0,3 ^b	42,6 ± 0,9 ^b
Ормессон	29,3 ± 2,5 ^a	1,9 ± 0,2 ^b	2,1 ± 0,2 ^a	43,1 ± 1,0 ^b
Моментум	29,6 ± 2,4 ^a	1,8 ± 0,2 ^b	2,0 ± 0,2 ^a	43,5 ± 1,0 ^{bc}
СТК21Г	26,4 ± 2,1 ^c	1,7 ± 0,1 ^b	2,9 ± 0,2 ^b	42,9 ± 0,7 ^b
ГІМАЛАЯ	29,0 ± 2,3 ^a	1,8 ± 0,1 ^b	1,8 ± 0,2 ^a	41,8 ± 0,7 ^b
ГІАЦИНТ	33,0 ± 2,2 ^b	1,7 ± 0,2 ^b	2,2 ± 0,2 ^{ac}	42,1 ± 0,8 ^b
БХВ20ГВ0009	29,2 ± 2,1 ^a	1,0 ± 0,1 ^a	2,2 ± 0,2 ^{ac}	38,9 ± 0,9 ^a

Примітка: різниця статистично достовірна за факторним аналізом ANOVA за концентраціями при $P_{0,05}$

Показник продуктивності рослини був значущим для перевищення врожайності для сортів Слава Унави, Золото Степу ($F = 5,15$; $F_{0,05} = 3,24$; $P = 0,03$). Наступний показник МТЗ однозначно перевищував стандарт у всіх високоврожайних сортів, що свідчить про вагому роль цієї ознаки при формуванні врожаю. Таким чином, сорти ЛГ ЛІТОПИС, Ормессон, СТК21Г, ГІМАЛАЯ, ГІАЦИНТ, Моментум формують врожайність за рахунок гарно розвиненого головного колосу, сорти Слава Унави та Золото Степу мають перевагу через вищу продуктивну кущистість. Встановлено два механізми формування високої врожайності.

Таблиця 3

Параметри якості зерна

Сорт	Білок, %	Клейковина, %	Глютеніни, г		Гліадіни, г
			HMW	LMW	
ЛГ Квадрант	13,4 ± 0,3 ^a	26,5 ± 0,4 ^a	0,15 ± 0,01 ^a	0,41 ± 0,01 ^a	0,40 ± 0,01 ^a
ЛГ Магірус	13,8 ± 0,3 ^a	26,7 ± 0,3 ^a	0,15 ± 0,02 ^a	0,41 ± 0,02 ^a	0,40 ± 0,01 ^a
ЛГ ЛІТОПИС	13,6 ± 0,2 ^a	26,9 ± 0,2 ^a	0,15 ± 0,01 ^a	0,32 ± 0,02 ^b	0,39 ± 0,02 ^a
Мавка ІР	13,5 ± 0,2 ^a	26,2 ± 0,2 ^a	0,15 ± 0,01 ^a	0,41 ± 0,02 ^a	0,39 ± 0,01 ^a
Мазурок	14,0 ± 0,2 ^b	27,9 ± 0,2 ^b	0,22 ± 0,01 ^b	0,41 ± 0,01 ^a	0,40 ± 0,01 ^a
Аліот	13,6 ± 0,2 ^a	26,1 ± 0,2 ^a	0,22 ± 0,01 ^b	0,40 ± 0,02 ^a	0,40 ± 0,02 ^a
Мейсса	13,2 ± 0,2 ^a	26,6 ± 0,2 ^a	0,16 ± 0,01 ^a	0,40 ± 0,01 ^a	0,40 ± 0,01 ^a
Слава Унави	14,0 ± 0,2 ^b	27,7 ± 0,3 ^b	0,22 ± 0,01 ^b	0,32 ± 0,01 ^b	0,50 ± 0,01 ^b
Золото Степу	13,9 ± 0,3 ^{ab}	27,5 ± 0,3 ^b	0,16 ± 0,01 ^a	0,40 ± 0,02 ^a	0,42 ± 0,01 ^a
Ормессон	13,5 ± 0,2 ^a	26,0 ± 0,2 ^a	0,15 ± 0,01 ^a	0,40 ± 0,02 ^a	0,48 ± 0,02 ^b

Продовження таблиці 3

Моментум	13,4 ± 0,1 ^a	26,8 ± 0,2 ^a	0,16 ± 0,02 ^a	0,48 ± 0,02 ^c	0,40 ± 0,01 ^a
СТК21Г	13,6 ± 0,1 ^a	26,9 ± 0,2 ^{ab}	0,15 ± 0,01 ^a	0,48 ± 0,01 ^c	0,40 ± 0,01 ^a
ГІМАЛАЯ	13,6 ± 0,1 ^a	26,7 ± 0,2 ^a	0,15 ± 0,01 ^a	0,41 ± 0,02 ^a	0,41 ± 0,02 ^a
ГІАЦИНТ	13,1 ± 0,1 ^{ac}	26,0 ± 0,2 ^a	0,22 ± 0,01 ^b	0,41 ± 0,01 ^a	0,40 ± 0,01 ^a
БХВ20ГВ0009	13,9 ± 0,2 ^{ab}	28,1 ± 0,3 ^b	0,22 ± 0,01 ^b	0,41 ± 0,01 ^a	0,40 ± 0,01 ^a

Примітка: різниця статистично достовірна за факторним аналізом ANOVA за концентраціями при $P_{0,05}$

Аналіз якості зерна проводився за наступними ознаками вміст білка в зерні, вміст клейковини в зерні, наявність у білках високо- та низькомолекулярних глютенінів та загальний вміст гліадинів (таблиця 3). До сильних пшениць відносяться сорти ЛГ Магірус, Мазурок, Слава Унави, Золото Степу, БХВ20ГВ0009. Сорти Слава Унави та Золото Степу мають високу продуктивність та задовільну якість, а тому загалом цілком відповідають потребам регіону. У той час як сорт Моментум загалом високоврожайний, але формує нижчу якість. Жоден з сортів не можна використовувати як донори високої якості. За компонентами запасних білків зерна позитивно виділилися по високомолекулярним глютенінам сорти Мазурок, Аліот, Слава Унави, ГІАЦИНТ, БХВ20ГВ0009 (вищий вміст), по низькомолекулярним сорти ЛГ ЛІТОПИС, Слава Унави (нижчий вміст) та по гліадинам сорти Слава Унави та Ормессон (вищий вміст). Тобто комплексно за глютенінами цікавим ресурсом для поліпшення є сорт Слава Унави.

Таким чином, за поєднанням підвищення врожайності з високими хлібопекарськими якостями виділилися в першу чергу сорти Слава Унави, Золото Степу, що формують врожайність і якість на необхідному рівні. Як сорт з комплексом високої зернової якості компонентами запасних білків можна використовувати сорт Слава Унави.

Висновки і пропозиції. Досліджувані сорти показали непогану стабільність за врожайністю для умов Степу України. Показано два різні шляхи для реалізації генетично обумовленої вищої врожайності у сучасних сортів пшениці – за рахунок кращого головного колосу або вищої продуктивної кущистості. Для будь-якого з варіантів обов'язковою умовою було суттєве перевищення за МТЗ, котре є умовно-достатнім індикатором високої врожайності. За поєднанням високих врожайних та достатніх якісних параметрів можливе вирощування сортів Слава Унави, Золото Степу. Не виявлено джерело вищої якості зерна за вмістом білку та клейковини, але сорт Слава Унави демонструє поєднання в комплексі позитивних властивостей за складом запасних білків (вищий вміст високомолекулярних глютенінів та гліадинів, нижчий вміст низькомолекулярних глютенінів).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Bordes J., Ravel C., Le Gouis J., Lapiere A., Charmet G., Balfourier F. Use of a global wheat core collection for association analysis of flour and dough quality traits. *Journal of Cereal Science*. 2011. 54. P. 137–134.
2. Cann D., Hunt J., Rattey A., Porker K. Indirect early generation selection for yield in winter wheat. *Field Crops Research*. 2022. 282. 108505.
3. Essam F., Badrya M., Aya M. Modeling and forecasting of wheat production in Egypt. *Advances and Applications in Statistics*. 2019. 59(1). P. 89–101.
4. Jaradat A. Simulated climate change differentially impacts phenotypic plasticity and stoichiometric homeostasis in major food crops. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2018. 30(6). P. 429–442.

5. Groeneveld M., Grunwald D., Piepho H.P., Koch H.J. Crop rotation and sowing date effects on yield of winter wheat. *The Journal of Agricultural Science*. 2024. 1. P. 1–11.
 6. Sloat L.L., Davis S.J., Gerber J.S., Moore F.C., Ray D.K., West P.C., Mueller N.D. Climate adaptation by crop migration. *Natural Communications*. 2020. 11. 1243.
 7. Salinas C., Osei E., Yu M., Guney S., Lovell A., Kan E. Climate change effects on Texas dryland winter wheat yields. *Agriculture*. 2024. 14(2). 232.
 8. Zhao C., Liu B.; Piao S., Wang X., Lobell D.B., Huang Y., Huang M.T., Yao Y.T., Bassu S., Ciais P. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of National Academy of Sciences of USA*. 2017. 114. P. 9326–9331.
 9. Wakatsuki H., Ju H., Nelson G.C., Farrell A.D., Deryng D., Meza F., Hasegawa T. Research trends and gaps in climate change impacts and adaptation potentials in major crops. *Current Opinions in Environment Sustainability*. 2023. 60. 101249.
-