

Реалізація адаптивного потенціалу урожайності сортиментом пшениці озимої в зоні Степу за різних умов вирощування

Анотація. Зміни клімату останніх десятиліть посилили ступінь ризиків у веденні рослинництва. Наслідком таких процесів є підвищення температурного режиму на фоні істотного дефіциту вологи в критичні періоди росту і розвитку рослин. Відповідно, дослідження спрямовані на встановлення пристосованості рослин до таких кліматичних змін є актуальними та своєчасними. Метою досліджень є встановлення принципів реалізації адаптивного потенціалу нових сортів пшениці озимої різних типів розвитку в зоні Степу за умов зміни клімату. Обліки та їх оцінку проводили відповідно загальноприйнятих методів українського сортовипробування з обов'язковим статистичним і дисперсійним аналізом результатів польових дослідів. Встановлення показників стабільності кількісних ознак і пластичності проводилося за допомогою алгоритму Еберхарда-Рассела, в основу якого покладено регресійний аналіз залежності врожайності зерна пшениці озимої різних сортів від індексу довкілля. Результатами досліджень встановлено, що для умов зрошення і без зрошення найбільш пристосовані сорти універсального типу з довжиною стебла 85-90 см. Регресійним аналізом даних пластичності і стабільності елементів структури врожаю у різних сортів пшениці озимої доведено, що їх мінливість має пряму залежність від генотипу та екологічних градієнтів. Відповідно результатів оцінки адаптивного потенціалу встановлено, що за параметрами пластичності ($b_i = 0.804-0.989$) і врожайності (7.33-7.63 т/га перебільшення стандарту на 10.4-14.9%) показали сорти пшениці озимої універсального типу – Асканійська, Асканійська Берегиня, Перлина, Знахідка одеська, інтенсивним типом розвитку характеризувалися сорти Херсонська 99, Кірена, Ярославна, Куяльник та ін. Сорти універсального типу були більш пластичними і стабільними в формуванні продуктивності колоса, порівняно з низькорослими і високорослими біотипами. Наукова значимість досліджень полягає в обґрунтуванні наукових принципів, практичних рекомендацій щодо вдосконалення сортової агротехніки пшениці озимої, які мали різне генетико-екологічне походження, в зрошуваних та незрошуваних умовах зони Степу

Ключові слова: зміни клімату, сорт, стабільність, пластичність, морфобіотип, урожайність

Вступ

Три останні десятиліття характеризуються підвищенням середньої річної температури в Україні на 1.2°C (Pichura et al., 2021). Відповідно метеоспостережень з 1890-х років період від кінця 20-го століття і до сьогодні вважається найтеплішим в Україні за всю історію моніторингу (Pichura et al., 2021). Такі кліматичні трансформації останніх років посилили ступінь ризиків, що стосуються технологічних процесів рослинництва: встановлення оптимальних строків сівби та норм висіву, вирощування різних за ступенем інтенсивності та групами стиглості сортів, гібридів зернових культур, оптимізацію внесення мінеральних добрив, тощо. Вони викликані підвищенням температурного режиму навколишнього середовища, нерівномірністю опадів або їх повною відсутністю в критичні фази розвитку польових культур (Pichura et al., 2021). Швидкість зміни середньої, а також максимальної та мінімальної температур за період 1961-2013 років склала 0.3°C кожні десять років (Didovets et al., 2020). Останні два десятиліття характеризуються достатньо небезпечним трендом з точки зору впливу на рослинництво – це розповсюдження хвиль тепла. Їх поява несе формування екстремально складних умов для вегетації сільськогосподарських рослин не тільки у всьому світі, а й в зоні Степу України зокрема. За даними NASA влітку 2021 року була зафіксована хвиля тепла з рекордним показником температури +49°C в Канаді в місті Літтон. Влітку 2022 року масштабні хвилі тепла спостерігалися і на усьому Європейському континенті, внаслідок чого були зафіксовані масові лісові пожежі в Центральній, Західній та

Південній Європі. Все це призвело до чималих людських жертв і втрати біорізноманіття на значних територіях. Інтенсифікація галузі рослинництва за сучасних регіональних і глобальних кліматичних змін з їх негативними наслідками, потребує не лише підвищення повноцінної продуктивності сортименту зернових культур, а й їх екологічної стійкості агроценозів. Селекція та сортова агротехніка сільськогосподарських культур набувають першочергового значення у вирішенні цих проблем. За даними результатів досліджень українських та міжнародних вчених приріст урожайності пшениці озимої за рахунок впровадження певних технологічних інновацій і вдосконалення агротехніки вирощування складає до 60%, а на долю сучасних високопродуктивних сортів інтенсивного спрямування з відповідною сортовою агротехнікою – до 40% (Domaratskiy, 2021; Williamson et al., 2022). Відсутність високоінтенсивних сортів пшениці озимої з підвищеною позитивною реакцією на поживний режим ґрунту зводила б нанівець застосування сучасних підходів в інтенсифікації галузі рослинництва, а саме: внесення підвищених доз і норм мінеральних добрив, застосування нових стимуляторів і регуляторів росту рослин, тощо. Ведення якісного насінництва та сортооновлення є найбільш рентабельними та екологічно безпечними факторами збільшення валових зборів зерна пшениці озимої (Domaratskiy, 2021; Williamson et al., 2022).

Показник врожайність впроваджує дію сукупності факторів на організм рослини у його вегетаційний період, а величина врожаю – є наслідком компромісу між продуктивністю та стійкістю до біотичних та абіотичних факторів довкілля (Herrera et al., 2021). За максимальних показників врожаю ознаки продуктивності і стійкості необхідно підбирати і регулювати таким чином, щоб у кожному окремому випадку вони найкраще відповідали умовам зовнішнього довкілля (Domaratskiy et al., 2020; Panfilova et al., 2021).

Підвищення врожайності пшениці озимої залежить, насамперед, від зв'язку між окремими компонентами продуктивності та встановлення основних закономірностей формування врожаю (Domaratskiy et al., 2019; Panfilova et al., 2020).

Багато вчених (Sewenet et al., 2021; Ge et al., 2022) вказують на важливу роль лінійного зв'язку між мінливістю ознак і екологічними умовами, це відкриває нові можливості для вивчення кількісних ознак, а також дозволяє прогнозувати адаптивні реакції сортів при вирощуванні їх в різних умовах.

Мета статті полягає у встановленні та висвітленні принципів реалізації адаптивного потенціалу нових сортів пшениці типово озимої та альтернативного типу в зоні Степу України за умов зміни клімату.

Огляд літератури

В Україні пшениця озима являється провідною культурою. Вона становить основу формування зернового балансу та є фундаментальною складовою продовольчої безпеки країни. Вона є основним продуктом харчування для більшої половини людства, насамперед, за рахунок високої харчової цінності та біохімічного складу зерна. Ця культура володіє високою екологічною пластичністю та має змогу формувати стабільні врожаї у широкому діапазоні агрокліматичних умов і географічних зон. Добір рекомбінантних біотипів з гібридних популяцій, створених на базі еколого-віддалених форм, а також використання в процесі гібридизації власного вихідного матеріалу складають фундаментальну основу сучасних методів селекції пшениці озимої (Bazaliy et al., 2012).

За результатами досліджень українських науковців встановлено, що раціональне використання можливостей сортименту формувати максимальний рівень продуктивності та визначення адаптивного їх потенціалу на сьогодні – є актуальним елементом технології вирощування зернових культур. Такі підходи надають реальні можливості для раціонального використання елементів живлення та вологи з ґрунту рослинними організмами впродовж вегетаційного періоду за рахунок оптимізації фізіологічного стану агроценозу (Chugriy, 2021; Chugriy et al., 2022).

Урожайність пшениці озимої має прямо пропорційну залежність від особливостей її складових компонентів та субкомпонентів. Біотичні та абіотичні фактори навколишнього середовища чинять безпосередній вплив на ці складові. За таких умов із загальної структури потенціалу онтогенетичної пристосованості рослин можливо виокремити ознаки з високим рівнем фенотипової пластичності, в тому числі й їх потенційної продуктивності та екологічної стійкості (Ali et al., 2022). Складові продуктивності мають змогу дещо компенсувати за рахунок інших компонентів впродовж вегетаційного періоду пшениці озимої на наступних етапах органогенезу (Vardhini, 2017).

На думку вчених (Wang et al., 2010; Ma et al., 2018) встановлена залежність того, що незначна кількість продуктивних пагонів може компенсуватися збільшенням кількості колосків у колосі в період вегетації рослин, а менша кількість колосків – збільшенням кількості сформованих зерен в ньому. Мала чисельність зерна в колосі компенсується за рахунок збільшення його крупності і підвищенням маси 1000 зерен.

Випадковий вплив біотичних та абіотичних факторів доквілля в меншій мірі впливає на показник кількості зерен в колосі. Істотний вплив на цей показник має кумулятивна дія факторів у першій період органогенезу рослин. Зміни показнику маси зерна з колосу реалізується на останніх етапах органогенезу рослин, а саме – в період дозрівання (Allard et al., 2013).

Сукупність показників потенційної продуктивності й екологічної стійкості пшениці озимої в одному сорті потребує не лише особливих методів селекції, але і підбору спеціальних фонів для оцінки формування врожайності сортименту (Tang et al., 2022; Keser et al., 2022).

Матеріали та методи

Програмою наукових досліджень передбачалося всебічне вивчення нових сортів універсального типу за різних умов вирощування (зрошення, без зрошення, строки і норми сівби). Досліджувані сорти пшениці м'якої озимої (Асканійська Берегиня, Херсонська безоста, Перлина, Асканійська, Західна одеська) мали різне генетичне та екологічне походження, а також занесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні. Польові досліді проводилися в 2017-2021 рр. в умовах дослідного поля Херсонського державного аграрно-економічного університету (GPS: 46.743447, 32.481064 м. Херсон, Ukraine – пункт 1) та Асканійської ДСДС ІЗЗ НААНУ (GPS: 46.55209, 33.82216 вул. 40-річчя Перемоги, 16. с. Тавричанка, Херсонська область, Україна – пункт 2), що входять до Південного Степу України (рис. 1).

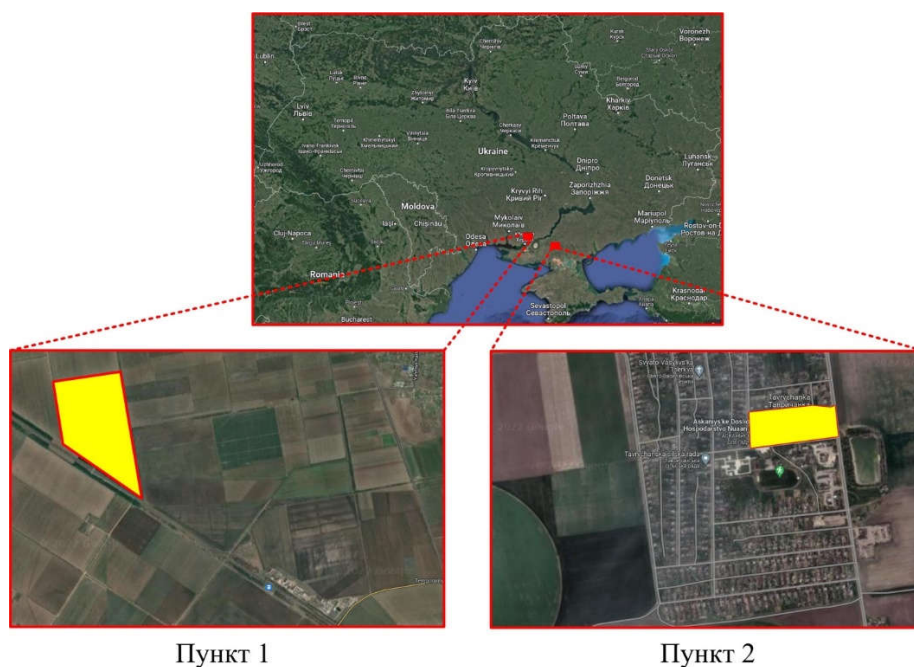


Рисунок 1. Пункти проведення польових досліджень

Примітки: Пункт 1 - GPS: 46.743447, 32.481064 Kherson, Ukraine, Пункт 2 - GPS: 46.55209, 33.82216 вул. 40-річчя Перемоги, 1б. с. Тавричанка, Херсонська область, Україна

Оцінка сортименту пшениці озимої, необхідні обліки та спостереження виконувались відповідно до загальноприйнятих методів державного сорто випробування. Статистичний і дисперсійний аналізи проводили відповідно методичних вказівок (Доспехов, 1979; Литун et al., 1996).

Агротехніка вирощування пшениці озимої в досліді була загальноприйнятою для півдня України, яка передбачає максимальне накопичення та збереження вологи в посівному шарі ґрунту на момент початку сівби. Такий підхід дає змогу щороку проводити посів пшениці озимої наприкінці оптимальних строків (в останню декаду вересня) навіть в незрошуваних умовах. Попередником для пшениці озимої у досліді виступав чорний пар, як за зрошуваних умов так і без зрошення. Сівбу досліджуваних сортів висівали нормою 3,5 млн. схожих насінин на гектар. Контроль засміченості посівів бур'янами відбувався за допомогою весняного внесення гербіциду з діючою речовиною трибенурон-метил у міжфазний період кінець кущення – вихід в трубку. Фунгіцидний захист від патогенної мікрофлори передбачав лише обробіток насінневого матеріалу перед сівбою препаратами, до складу яких входить діюча речовина тебуконазол 750 г/кг. Для встановлення показників пластичності сортів та стабільності кількісних ознак використовували алгоритм S.A. Eberhart & W.A. Russel (1966). В основу цього алгоритму покладено проведення регресійного аналізу залежності врожайності зерна сортів від індексу довкілля.

Результати та обговорення

Продуктивність колоса мала добре виражену генетичну специфічність у формуванні врожаю в цілому по досліді. Впродовж років проведення досліджень за різних умов вирощування найбільш висока маса зерна з колоса була сформована сортами Кірена, Херсонська 99, Асканійська, Соломія, Асканійська Берегиня. Ці сорти характеризувалися високою продуктивністю колоса, головним чином, під впливом підвищеної інтенсивності наливу зерна, порівняно з іншими сортами пшениці озимої. Мінливості умов вирощування не мали істотного впливу на показники продуктивності колоса. Цей показник був генетично обумовлений і досягав високого рівня. Найбільш висока маса зерна з колосу формувалася досліджуваними сортами у варіанті розрідженого посіву за пізнього строку сівби. З точки зору формування урожайності за таких умов менший продуктивний стеблостій компенсувався більшою продуктивністю колоса.

Досліджувані сорти пшениці озимої мали свою специфічність відносно компенсаторних ознак у формуванні врожаю. Так, сорти пшениці озимої Вікторія Одеська, Знахідка Одеська, Асканійська, Асканійська Берегиня формували високопродуктивний колос (1.60-2.06 г.) майже не залежно від густоти стояння рослин. Щодо сортів Одеська напівкарликова, Істок, Херсонська 99 та Куяльник – ці сорти за збільшення норм висіву мали тенденцію до зниження показнику продуктивності колоса. Зменшення густоти стеблостою у цих сортів мало значний вплив на підвищення маси зерна з колоса.

Щодо числа зерен в колосі досліджуваних сортів, то за пізнього строку сівби цей показник збільшувався аналогічно загальній продуктивності колоса. Деякі сорто типи вирізнялися різною реакцією на мінливість умов вирощування.

Аналізуючи результати досліді з параметрів пластичності і стабільності елементів структури врожаю у сортів пшениці озимої за різних умов вирощування встановлено, що їх мінливість мала залежність від генотипу та екологічних градієнтів (таблиця 1).

Таблиця 1. Характер прояву структурних елементів в колосі у сортів пшениці озимої за різних умов вирощування

Сорт	$\bar{x} \pm S \bar{x}$	Коефіцієнт регресії. b_1	Дисперсія. $S^2 d$
Асканійська Берегиня	1.87±0.03	0.612	0.006
Херсонська безоста	1.58±0.03	1.614	0.034

Перлина	1.78±0.02	0.836	0.007
Асканійська	1.74±0.02	0.759	0.005
Західна одеська	1.56±0.03	0.760	0.026
Кількість зерен в колосі, шт.			
Асканійська Берегиня	43.7±0.65	0.501	3.00
Херсонська безоста	41.81±0.85	1.824	12.16
Перлина	46.41±0.53	0.623	5.56
Асканійська	48.77±0.65	0.814	4.84
Західна одеська	42.10±0.31	1.018	6.14
Довжина колоса, см			
Асканійська Берегиня	10.1±0.06	0.466	0.08
Херсонська безоста	10.0±0.10	2.342	0.46
Перлина	10.2±0.06	0.166	0.09
Асканійська	10.7±0.07	0.648	0.11
Західна одеська	9.4±0.06	0.843	0.13

Source: авторська розробка.

З результатів досліджень становлено, що серед генотипів, які вивчалися в польовому досліді за показником маси зерна з колоса лише один сорт Херсонська безоста характеризувався істотною реакцією на зміну умов вирощування ($b_1 = 1.614$). Щодо інших нових універсальних сортів (Асканійська Берегиня, Асканійська, Перлина), то вони мали достатньо високий рівень пластичності ($b_1 = 0.612 - 0.836$). За таких умов дані сорти можна вважати також стабільними у формуванні продуктивності колоса ($S^2 d = 0.005-0.006$).

Подібні результати було встановлено також при формуванні кількості зерен у колосі. Так, сорти пшениці озимої Асканійська Берегиня, Асканійська, Перлина характеризувалися вищими показниками пластичності ($b_1 = 0.501-0.814$) і стабільності ($S^2 d = 3.00-5.56$) у прояві цієї ознаки продуктивності за різних умов вирощування (табл. 1). Особливої уваги потребує сорт Знахідка одеська, який характеризується істотно високим рівнем реакції на мінливість умов вирощування ($b_1 = 1.018$) та проявив високу рівень стабільності ($S^2 d = 6.14$) за цією ознакою, в той час як сорт Херсонська безоста при найбільшій реакції на поліпшення (погіршення) умов вирощування ($b_1 = 1.824$) був значно нестабільним у формуванні кількості зерен в колосі ($S^2 d = 12.16$).

Структурний аналіз елементів продуктивності довів, що кількість зерен та маса зерна з колоса збільшувалась у всіх сортів за меншої щільності рослин та більш пізніх строках сівби.

Проведення дисперсійного аналізу зазначених ознак дає можливість стверджувати, що вони значною мірою модифікуються умовами навколишнього середовища (46.5-53.2%). Норма висіву практично не мала впливу на варіювання цих ознак (1.4-4.2%), строки сівби, навпаки, характеризувалися суттєвим впливом (9.5-20.8%). Маса зерна з колоса зумовлена генотиповою мінливістю в більшій мірі (25.6%), ніж кількість зерен у колосі (14.1%).

Проведення дисперсійного аналізу інших важливих субкомпонентів продуктивності колоса (довжина колоса, кількість колосків) дало змогу також встановити їх суттєву залежність від генетичних властивостей того чи іншого сорту та екологічних градієнтів.

Показник довжини колоса зазнає більш істотних модифікацій під впливом умов довкілля (49.9%) за незначного прояву генетичної мінливості (17.1%) порівняно з кількістю колосків у колосі. Останній показник мав середню мінливість (28.3%) за достатньо високої генотипової мінливості (55.6%).

Збільшення абсолютного виразу довжини колоса та кількості колосків у ньому відбувалося на фоні підвищення реакції сортів пшениці озимої на зменшення щільності посіву, що формувалася під впливом різних норм і строків сівби культури.

Процеси формування сортами пшениці озимої продуктивного стеблостою істотною мірою залежить від умов вирощування та показника гідротермічного коефіцієнту. Зниження кількості продуктивних стебел у рослин на одиниці площі спричинене зниженням норм висіву, пізнім строком посіву і несприятливими погодними умовами року – є загальною

закономірністю. Але модифікованість цієї ознаки значною мірою визначалась архітектонікою сортів.

Нові універсальні сорти (довжина стебла 85-90 см.) Асканійська, Асканійська Берегиня, Перлина формували значно більше продуктивних стебел порівняно з середньорослими сортами Херсонська безоста, Дріада, Кірена, що і стало наслідком формування ними більш високої урожайності за всіх строків і норм посіву. Це перш за все зумовлено їх біологічними морфологічними особливостями, а також реакцією певного сорту на умови зрошення (Bazaliy et al., 2020).

При пізньому строку посіву перевага даних сортів над середньорослими ще більш очевидна. Так, у цьому випадку за рахунок додаткового весняного кущіння рослин і синхронністю колосіння в універсальних сортів меншою мірою знижувалась урожайність, ніж у середньорослих сортів.

При збільшенні норми висіву спостерігалась загальна тенденція до підвищення продуктивності сортів, особливо це характерно для пізнього строку сівби. Для рослин сортів універсального типу це пояснюється синхронністю стеблоутворення і відбувається в результаті збільшення колосоносних пагонів. У середньому в різні роки випробувань найбільший врожай формувался за оптимальних умов випробування. Оцінка сортів за різних густот стеблостою показала, що істотне підвищення урожайності в них спостерігалось з її збільшенням.

Результатами досліджень встановлено, що лише за пізнього строку сівби сорти, що вивчалися, мали позитивну реакцію на збільшення норми висіву, за інших строків її збільшення не мало достовірного впливу на зміну врожайності. Така залежність особливо характерна для високо і середньорослих сортів пшениці озимої (Дніпровська 847, Ярославна, Херсонська безоста та Кірена). Ці сорти в більшості випадків мали математично доведене зниження продуктивності за збільшення норм висіву до 7 млн. зерен/га (Bazaliy et al., 2020).

Відмінність між сортами інтенсивного та напівінтенсивного типу розвитку полягає у тому, що перші потребують більш високого рівня агрофону, вологозабезпеченості, агротехнічних умов, тощо. Погіршення цих умов та їх істотне якісне коливання призводить до неможливості максимальної реалізації свого потенціалу продуктивності. Наряду з цим висока чутливість сортів інтенсивного типу до сприятливих умов вирощування часто обмежує їх ареал розповсюдження в інших агроекологічних зонах, в яких ці сорти можуть і не сформувати високих показників продуктивності. Відповідно, створення універсальних сортів, яким характерний підвищений рівень адаптивного потенціалу, є основним напрямком селекції пшениці озимої в умовах подальшого підвищення продуктивності агроценозу. Все це гарантуватиме екологічну стабільність конкретного сорту.

Культурні рослини постійно зазнають впливу несприятливих факторів зовнішнього середовища, за результатами цих процесів виникає депресія врожайності як окремих рослинних організмів, так і агроценозів в цілому. Ступінь негативної реакції досліджуваних агроценозів характеризується наявністю або відсутністю механізмів гомеостазу. При цьому, невідповідність умов вирощування адаптивному потенціалу рослин має прямо пропорційну залежність витратам продуктів асиміляції на захисні і компенсаторні реакції, які в сою чергу повинні втрачати саме на формування врожаю. Такі процеси несуть негативний вплив на рівень врожайності культури. Інтегральний фізіологічний показник визначає загальну стійкість рослин до негативних факторів довкілля, він також впливає на дисперсію у формуванні продуктивності агроценозу (Basu et al., 2021).

Під показником стійкості (екологічної стабільності) необхідно розуміти відношення за стресових умов до врожайності за оптимальних. За цією формулою визначення стійкості нами і було розраховано показники стабільності врожаю у сортів пшениці озимої (таблиця 2).

Таблиця 2. Показники стабільності врожайності у сортів пшениці озимої за різних умов вирощування (2017-2021 рр.)

Сорт	Зрошення	Без зрошення	Без зрошення / зрошення
Херсонська безоста	0.71	0.79	0.54
Херсонська 99	0.73	0.80	0.52
Херсонська остиста	0.76	0.79	0.54
Кірена	0.64	0.71	0.49
Ярославна	0.57	0.68	0.43
Асканійська	0.77	0.71	0.49
Асканійська Берегиня	0.78	0.82	0.57
Перлина	0.79	0.84	0.59
Одеська 267	0.79	0.83	0.58
Альбатрос одеський	0.56	0.70	0.51
Куяльник	0.57	0.73	0.48
Знахідка одеська	0.72	0.71	0.48

Source: авторська розробка.

Як видно із таблиці 2 сорти частково відрізнялися показниками екологічної стабільності. Незважаючи на те, що вони мають різне генетичне походження належать до різних екологічних груп, стабільність їх рослин за врожайністю більш висока в умовах незрошеного землеробства, які забезпечили менший за інтенсивністю вегетаційний ріст ніж в умовах зрошення, а це, в свою чергу, призвело до менших енергетичних витрат на захисті компенсаторні реакції.

Необхідно відзначити і те, що в умовах недостатньої ґрунтової вологи за абсолютною врожайністю і екологічною стабільністю виділилися сорти універсального типу Асканійська, Асканійська Берегиня, Перлина і Знахідка одеська.

В 2021 році від складних чинників перезимівлі, в основному від заморозків восени та ранньою весною постраждали сорти Обрій, Одеська 162.

Погодно-кліматичні умови конкретного року вирощування мають істотний вплив на реалізацію потенційної продуктивності сортів пшениці озимої. Особливо це стосується зон ризикового землеробства півдня України, у тому числі і Херсонської області. Аналіз метеорологічних даних за останні 30 років в Херсонській області свідчить про високу мінливість кількості опадів за роками (від 283 до 627 мм) а за період вегетації від 59 до 255 мм. (Bazaliy et al., 2021).

Сорт як біологічну систему доречно розглядати через призму його реакції на екологічні умови. Від цього залежить здатність сорту до реалізації свого генетичного потенціалу врожайності, завдяки параметрам пластичності та його стабільності (табл 3).

Таблиця 3. Характер прояву параметрів врожайності і пластичності у сортів пшениці озимої за умов зрошення (2017-2021 рр.)

Сорт	Років вивчення	Висота рослин, см	Урожайність зерна		Коефіцієнт пластичності, b_i
			т/га	відносно стандарту, %	
Херсонська безоста	5	106	6.64	-	1.120
Херсонська 99	5	108	6.78	102.1	1.018
Херсонська остиста	5	110	6.65	100.0	1.203
Кірена	5	106	6.84	103.0	1.314
Ярославна	5	108	6.64	100.0	0.980
Асканійська	5	95	7.05	106.2	0.989
Асканійська Берегиня	4	90	7.23	110.4	0.814
Перлина	3	96	7.63	114.9	1.018
Одеська 267	5	110	6.24	93.5	1.105
Альбатрос одеський	5	108	6.04	91.0	1.314
Куяльник	5	106	6.79	102.2	1.140
Знахідка одеська	5	96	7.06	113.2	0.804

Source: авторська розробка

Аналіз результату оцінки адаптивного потенціалу виявив, що за параметрами пластичності ($b_i = 0.804-0.989$) і врожайності (7.33-7.63 т/га) перебільшення стандарту на 1.04-14.9%) показали сорти пшениці озимої універсального типу – Асканійська, Асканійська Берегиня, Перлина, Знахідка одеська, інтенсивним типом характеризувалися сорти Херсонська 99, Кірена, Ярославна, Куяльник та інші.

Аналіз селекційних ліній озимої пшениці різного генетичного походження виявив, що у сприятливий за погодними умовами рік високою врожайністю володіють різні за висотою рослин генотипи, але найбільш оптимальна довжина стебла для реалізації продуктивності 80-95 см. Така закономірність більше проявилась в несприятливих умовах вирощування, коли спостерігалось різке зниження висоти рослин. Так, вивчення ідентичних ліній у несприятливих умовах вирощування дало можливість деференціювати їх лише на дві групи за висотою рослин з максимальною довжиною стебла 85-90 см. Ці морфобіотики характеризувались більшою продуктивністю елементів структури врожаю і врожайністю ніж лінії з меншою висотою рослин.

Створення морфобіотипів з довжиною стебла 85-90 см, шляхом схрещування низькорослих форм між собою не викликає труднощів, тому що вихід більш високорослих генотипів у гібридних популяціях відбувається в масовому порядку. Це значно підвищує можливість для спрямованих індивідуальних доборів високопродуктивних морфобіотипів, крім того такі біотики, як правило, характеризуються більшою вираженістю адаптивних ознак порівняно з низькорослими формами ідентичного, генетичного походження.

Результатами експериментальних досліджень виявлено, що при оптимальних умовах вологозабезпечення морфобіотики озимої пшениці характеризувались високим абсолютним проявом маси зерна з головного колоса і колосів другого порядку і крупністю зерна.

Характерно що, співвідношення цих елементів структури врожаю при зрощенні було більш тісним, ніж за умов без зрощення. Так, перебільшення маси зерна з головного колоса до маси зерна колосів другого порядку за умов зрощення було 27,3-34,4%, а без зрощення 32,6-41,0%, за масою 1000 зерен відповідно 10,9-24,5% і 17,1-33,0%. Таким чином, в умовах зрощення реалізація показників елементів структури врожаю значно вища, ніж у менш сприятливих умовах (без зрощення), тому добір генотипів стійких до несприятливих умов доквілля необхідно проводити лише після того, як їх висока потенційна продуктивність доведена в сприятливих умовах вирощування.

Підвищення маси зерна з колоса, як одного із головних елементів урожайності озимої пшениці залежить від стабільності прояву числа зерен і їх крупності. Ці ознаки мають різну мінливість під впливом лімітуючих чинників зовнішнього доквілля і від генетичного походження селекційних ліній озимої пшениці. Найбільшу стабільність високих ознак продуктивності колоса виявили морфобіотики, які були відібрані із гібридних популяцій Знахідка одеська / NS 314, Асканійська / Вікторія одеська, Херсонська безоста / Перлина та інші. Параметри ознак продуктивності в цих гібридних популяціях середні за вираженістю але досить стабільні за проявом.

Так, з цих гібридних популяцій були добрані селекційні лінії, які за продуктивністю колоса перебільшували стандартний сорт Херсонську безосту на 10-15%, що забезпечувалось, головним чином, підвищенням кількості зерен у колосі, і крупністю зерна.

Врожайність озимої пшениці значною мірою залежить від тривалості вегетаційного періоду, але в південному Степу України у морфобіотипів з пізнім колосінням процес зерноутворення відбувається у менш сприятливих умовах, порівняно з ранньостиглими формами, тому вони формують низьку продуктивність колоса і щупле зерно. У ранньо- і середньостиглих гібридних популяціях добір морфобіотипів з більш тривалим періодом зерноутворення (38-46 днів) забезпечувало більш високу продуктивність за умов зрощення.

Але не завжди теоретичне обґрунтування і ефективність добору таких морфобіотипів за умов зрощення, підтверджувало їх високу продуктивність при вирощуванні в несприятливих і незрощуваних умовах.

Лише форми з раннім колосінням (перша та друга декади травня) і тривалим періодом зерноутворення деяких гібридних популяцій, зберігали свою перевагу над іншими селекційними лініями різних груп стиглості, їх висока продуктивність формувалась, головним чином, за рахунок збільшення крупності зерна і продуктивності колоса.

Пізнюстигли селекційні лінії, практично не підтверджували свою високу продуктивність в екстремальних умовах вирощування і без зрошення.

Таким чином, до високопродуктивних форм з більш тривалим періодом зерноутворення повинен бути диференційований підхід, а їх використання лише після вивчення в умовах сортової агротехніки.

Перед селекцією озимої пшениці виникла складна проблема – створення сортів універсального типу, але на даний час неможливо створити такі сорти для всіх екологічних зон і виробничих умов. Авторами статті встановлено, що високоврожайні сорти більш адаптовані до сприятливих умов вирощування, а низьковрожайні сорти і місцеві морфобіотики більш продуктивні в стресових умовах, це співпадає з думкою науковців S. Caccarlli & S. Grando (1991), Стоєва Иванко, Пенчев Емил (1999), Бороевич С. (1984). Ряд українських вчених та науковців Європейського Союзу (Chugriy et al., 2022; Keser et al., 2022) стверджують, що незважаючи на погіршення умов вирощування селекція на високу потенційну продуктивність необхідна, оскільки, чим вище потенційні можливості сорту, тим слабше він реагує на екологічні, погодні та інші зміни умов довкілля.

Також проблемою реалізації адаптивного потенціалу пшениці озимої займалися й австралійські вчені D. Cann, J. Hunt, K. Parker, F. Harris, A. Rattey, J. Hyles (2023) впродовж 2018 – 2022 років. В своїх дослідженнях вони встановили, що морфобіотики пшениці озимої, які мають прискорений тип розвитку мали більш високий рівень адаптації до несприятливих факторів зовнішнього середовища, порівняно із звичайними сортами. Такі висновки цілком співпадають з думкою авторів статті, саме цей тип розвитку характерний сортам пшениці озимої, що вивчалися в польовому досліді. Австралійські дослідники стверджують, що за таких умов фенологія вже має другорядне значення для процесу адаптації рослин.

Колектив польських науковців Marcin Rapacz, Alicja Macko-Podgórní, Barbara Jurczyk та Leszek Kuchar (2022) на основі власних шестирічних польових досліджень розробили емпіричні моделі з адаптивного потенціалу пшениці озимої за умов змін клімату до 2040, 2060 та 2080 рр. за різними сценаріями. За результатами прогнозування встановлено, що основною проблемою реалізації адаптивного потенціалу агроценозів буде холодна деакліматизація, пов'язана з потеплінням клімату, яка буде важливішою для стійкості рослин до несприятливих факторів зовнішнього середовища, ніж загальне підвищення зимових температур. Цей висновок співпадає з думкою колективу авторів статті і вказує на те, що стійкість до деакліматизації повинна бути включена до програм створення та розведення сортів пшениці озимої як ознака, важлива для зимостійкості рослин у майбутні зими, принаймні в Центральній Європі.

Колектив науковців США у складі вчених K. Kothari, S. Ale, A. Attia, N. Rajan, Q. Xue та C. L. Munster (2019) провели польові дослідження, метою яких було оцінити вплив змін клімату на виробництво озимої пшениці в штаті Техас, а також оцінити потенційні стратегії адаптації рослин до нових умов. Ці дослідження проводилися в умовах зрошення. Науковці вбачають, що є певні очікування, щодо особливостей проведення зрошення польових культур в майбутньому, а саме: використання загальних об'ємів води для зрошення озимої пшениці зменшиться через підвищення ефективності використання води за рахунок підвищеної концентрації CO₂ в атмосфері та скорочення тривалості вегетаційного періоду, як наслідок підвищення температурного режиму. Дані очікування також підтверджуються і результатами спостережень авторів статті.

Вбачається, що врожайність посушливих земель матиме тенденцію до збільшення завдяки покращенню ефективності використання води сільськогосподарськими культурами. Серед створених віртуальних прогностичних моделей науковців США, перевірених на адаптацію до змін клімату, було виявлено, що збільшення потенційної кількості зерен та

розвиток більш потужної кореневої системи є найбільш бажаними ознаками, оскільки такі сорти мали вищу врожайність і менше потребували поливної води, ніж контрольний сорт. Дослідженнями встановлено, що в зазначених умовах сорти з більшим періодом вегетації, листовий апарат яких довше залишався зеленим, виявилися недоцільними через значно більше використання води для поливу, ніж контрольний сорт. Загалом результати досліджень показали, що вирощування озимої пшениці в Техаському регіоні може отримати користь від змін клімату за більш м'яких кліматичних умов (середня температура вегетаційного періоду $<13^{\circ}\text{C}$). В даному випадку реалізація адаптивного потенціалу досліджуваних сортів та підвищення рівня врожайності відбувалися за рахунок покращення архітекtonіки кореневої системи рослин.

На сьогодні дослідження авторів статті, спрямовані на створення та вивчення сортів пшениці озимої універсального типу, які можна було б вирощувати як за інтенсивною, так і за звичайною технологіями. Натомість відомі українські селекціонери (Orlyuk et al., 2002; Bazaliy et al., 2020) вважають, далеко не завжди вдається отримати варіант – сорт для характерних специфічних умов. Його продуктивність може сильно варіювати за роками в одному і тому же господарстві, при вирощуванні за одним і тим же попередником, з використанням подібної агротехніки та інших однакових умов. Очікується, що в подальшому наша країна стикатиметься з подвійною проблемою: продовольчою та водною безпекою, які є вже актуальними і сьогодні та, ймовірно посиляться в майбутньому під впливом подальших змін клімату. Особливо затребуваними будуть сорти зернових культур, які найбільш економно використовують ґрунтову вологу та зрошувану воду, відповідно коефіцієнт використання зрошуваної води при вирощуванні таких сортів буде знаходитися в оптимальному діапазоні. Такий підхід можливо вважати ключовим у вирішенні зазначених проблем.

Аналізуючи результати власних досліджень та напрацювання інших науковців необхідно зазначити, що зміни клімату з високою вірогідністю будуть безпосередньо впливати і в подальшому на розвиток сільського господарства в цілому та на галузь рослинництва зокрема. Це ставить перед науковцями ряд завдань із встановлення залежності реалізації адаптивного потенціалу сільськогосподарських культур від таких кліматичних перетворень, відповідно створення нового сортименту зернових культур та дослідження таких морфобіотипів, які будуть володіти найвищим ступенем пластичності та стабільності урожайності, сьогодні є найбільш актуальними та пріоритетними напрямками розвитку рослинництва країн Європейського Союзу.

Висновки

Аналіз прояву параметрів пластичності і стабільності елементів структури врожаю виявив, що за різних умов вирощування у сортів пшениці озимої їх мінливість і абсолютний прояв залежав як від генотипу, так і від екологічних градієнтів. Більш пластичними і стабільними у формуванні продуктивності колоса були сорти універсального типу (висота рослин 85-90 см), порівняно з низькорослими і високорослими біотипами, вони відповідно формували більш високу і стабільну врожайність.

Сорт, як біологічну систему доречно розглядати через призму його реакції на екологічні умови та здатність реалізації його генетичного потенціалу. Аналіз результатів досліджень адаптивного потенціалу пшениці озимої дозволив зробити висновок про високу ступінь гомеостатичності та високої цінності сортів універсального типу Асканійська, Асканійська Берегиня, Перлина, Знахідка одеська.

За різних умов вирощування із гібридних популяцій озимої пшениці, які характеризуються стійкістю або толерантністю до несприятливих умов довкілля добрані морфобіотипи з інтегральною взаємодією цінних субознак продуктивності колоса.

Дослідженнями доведено, що однобічне підвищення рівня окремої ознаки збільшувало її мінливість під дією лімітуючих чинників зовнішнього середовища, відповідно характер прояву елементів продуктивності в комплексі має середнє значення.

Встановлено обернено-пропорційну залежність абсолютного індивідуального прояву субознак з адаптивною здатністю морфобіотипів. Розірвати зазначений негативний взаємозв'язок можливо за умов активації роботи всієї генетико-фізіологічної системи гомеостазу, яка в сою чергу істотно впливає на комплексний прояв ознак.

За різних умов вирощування (зрошення, без зрошення) і погодних умов доквілля перевага добраних селекційних ліній універсального типу порівняно зі стандартним сортом Херсонська безоста стійко зберігалась в межах 0,34-0,64 т/га.

Перспективою подальших досліджень є розробка та вдосконалення елементів сортової агротехніки вирощування нових перспективних сортів пшениці озимої універсального типу за умов глобальних змін клімату, а також максимальна реалізація генетичного потенціалу кожного сорту в жорстких кліматичних умовах зони Степу України.

References

1. Ali, Sh., Khan, N. & Tang, Yu. 2022. Epigenetic marks for mitigating abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Physiology*, 275, article number 153740.
2. Allard, V., Martre, P. & Gouis, J. 2013. Genetic variability in biomass allocation to roots in wheat is mainly related to crop tillering dynamics and nitrogen status. *European Journal of Agronomy*, 46, 68-76.
3. Basu, S. & Kumar, G. 2021. Exploring the significant contribution of silicon in regulation of cellular redox homeostasis for conferring stress tolerance in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 166, 393-404.
4. Bazaliy, V.V., Domaratskiy, E.O., Artyushenko, V.V. & Pichura, V.I. 2012. The evaluation and modeling of the yield formation of soft winter wheat varieties using the neurotechnologies. *Bulletin of the Agricultural Science of the Black Sea Coast*, 4(1), 169-179.
5. Bazaliy, V.V., Domaratskiy, E.O., Boychuk, I.V., Teteruk, O.V., Kozlova, O.P. & Bazaliy H.G. 2020. Genetic control and the recombination of lodging resistance traits in the winter wheat hybrids under different growing conditions. *The Agricultural Innovations*, 4, 87-93.
6. Bazaliy, V.V., Boychuk, I.V., Domaratskiy, E.O. & Teteruk, O.V. 2021. The Effectivity of the selection of winter wheat forms in accordance with quantitative characteristics and the problems of their identification. *The Agricultural Innovations*, 5, 108-113.
7. Borojevich S. 1984. *Principles and methods of plant breeding*. Moscow: Ear.
8. Cann, D., Hunt, J., Porke, K., Harris, F., Rattey, A. & Hyles J. 2023. The role of phenology in environmental adaptation of winter wheat. *European Journal of Agronomy*, 143, 126686.
9. Ceccarlli, S., Grando, S. 1991. Selection environment and environmental sensitivity in barley. *Evphytica*. 57. P.157-167.
10. Chugriy, G.A., Vyskub, R.S., Poplevko, V.I., Shultz, P. & Sknypa, N.L. 2022. The scientific principles of the selection of soft winter wheat varieties based on their adaptive traits. *The Agricultural Innovations*, 11, 60-67.
11. Chugriy, G.A. 2021. The adaptive properties of variety as the factor in increasing the gross yield of winter wheat grain. *Scientific journal "Cereal crops"*, 5(1), 99-105.
12. Didovets, Iu., Krysanova, V., Hattermann, F., López, M., Snizhko, S. & Schmied, H. 2020. Climate change impact on water availability of main river basins in Ukraine. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 32, article number 100761.
13. Domaratskiy Ye. 2021. Leaf Area Formation and Photosynthetic Activity of Sunflower Plants Depending on Fertilizers and Growth Regulators. *Journal of Ecological Engineering*, 22(6), 99-105.
14. Domaratskiy, Ye., Kozlova, O., Domaratskiy, O., Lavrynenko, Iu. & Bazaliy, V. 2020. Effect of nitrogen nutrition and environmentally friendly combined chemicals on productivity of winter rapeseed under global climate change. *Indian Journal of Ecology*, 47(2), 330-336.
15. Domaratskiy, Ye., Berdnikova, O., Bazaliy, V., Shcherbakov, V., Gamayunova, V., Larchenko, O., Domaratskiy, A. & Boychuk I. (2019). Dependence of winter wheat yielding

capacity on mineral nutrition in irrigation conditions of southern Steppe of Ukraine. *Indian Journal of Ecology*, 46(3), 594-598.

16. Dospikhov, B.A. 1979. The methodology of the field experience. Moscow: Kolos, 415 p.
17. Eberhart, S.N. & Russel, W.A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop. Sci*, 6(1), 36-40.
18. Ge, J., Wang, J., Pang, H., Li, F., Lou, D., Fan, W., Liu, Z., Li, J., Li, D., Nong, B., Zhang, Z., Wang, Ya., Huang, J., Xing, M., Nie, Ya., Xiao, X., Zhang, F., Wang, W. & Zheng, X. (2022). Genome-wide selection and introgression of Chinese rice varieties during breeding. *Journal of Genetics and Genomics*, 49(5), 492-501.
19. Herrera, G., Peña-Bahamonde, J., Paudel, S. & Rodrigues, D. (2021). The role of nanomaterials and antibiotics in microbial resistance and environmental impact: an overview. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 33, article number 100707.
20. Keser, M., Akin, B., Ozdemir, F., Bartolini, P. & Jeitani, A. 2022. International Winter Wheat nurseries data: Facultative and Winter Wheat Observation Nurseries and International Winter Wheat yield trials for semi-arid and irrigated conditions. *Data in Brief*, 41, article number 107902.
21. Kothari, K., Ale, S., Attia, A., Rajan, N., Xue Q & L. Munster, C. 2019. Potential climate change adaptation strategies for winter wheat production in the Texas High Plains. *Agricultural Water Management*, 225, 105764.
22. Lytun, P.P., Proskurnyn, N.V. & Hoptsiy, T.I. 1996. The methodology of the field selection experiment. Kharkiv: KAU, 271 p.
23. Ma, Sh., Wang T., Guan, Xi. & Zhang, Xi. 2018. Effect of sowing time and seeding rate on yield components and water use efficiency of winter wheat by regulating the growth redundancy and physiological traits of root and shoot. *Field Crops Research*, 221, 166-174.
24. Orlyuk, A.P., Goncharova, K.V. 2002. Adaptive and productive potentials of wheat. *Kherson: Ailant*, 276 p.
25. Panfilova, A., Gamayunova, V. & Potryvaieva, N. (2021). The impact of nutrition optimization on crop yield and grain quality of spring barley varieties (*Hordeum vulgare* L.). *Agraarteadus*, 32(1), 111-116.
26. Panfilova, A., Gamayunova, V. & Smirnova, I. (2020). Influence of fertilizing with modern complex organic-mineral fertilizers to grain yield and quality of winter wheat in the southern steppe of Ukraine. *Agraarteadus*, 31(2), 196-201.
27. Pichura, V., Potravka, L., Dudiak, N. & Vdovenko, N. (2021). Space-time modeling of climate change and bioclimatic potential of steppe soils. *Indian Journal of Ecology*, 48(3), 671-680.
28. Rapacz, M., Macko-Podgórní, A., Jurczyk, B. & Kuchar, L. 2022. Modeling wheat and triticale winter hardiness under current and predicted winter scenarios for Central Europe: A focus on deacclimation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 313, 108739.
29. Sewenet, H., Anley, A. & Getie, M. (2021). Performance evaluation and participatory varietal selection of improved bread wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties, the case of Debre Elias District, Northwestern Ethiopia. *Ecological Genetics and Genomics*, 19, article number 100086.
30. Stoeva, I. & Penchev, E. (1999). Studies on average and qualitative characteristics of a group of common winter wheat varieties depending on annual conditions. *Agricultural Science*. 37(22), 13-18.
31. Tang, X., Liu, H., Feng, D., Zhang, W., Chang, J., Li, L. & Yang, L. (2022). Prediction of field winter wheat yield using fewer parameters at middle growth stage by linear regression and the BP neural network method. *European Journal of Agronomy*, 141, article number 126621.
32. Vardhini, B.V. 2017. Modifications of morphological and anatomical characteristics of plants by application of brassinosteroids under various abiotic stress conditions – A review. *Plant Gene*, 11(B), 70-89.

33. Wang, L., Chen, F., Zhang, F. & Mi, G. 2010. Two strategies for achieving higher yield under phosphorus deficiency in winter wheat grown in field conditions. *Field Crops Research*, 118(1), 36-42.
34. Williamson, H. & Leonelli S. (2022). Accelerating agriculture: Data-intensive plant breeding and the use of genetic gain as an indicator for agricultural research and development. *Studies in History and Philosophy of Science*, 95, 167-176.