

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
МИРОНІВСЬКИЙ ІНСТИТУТ ПШЕНИЦІ ІМЕНІ В. М. РЕМЕСЛА

**ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ ПЛАСТИЧНОСТІ ЗА
УРОЖАЙНІСТЮ СОРТІВ *TRITICUM AESTIVUM* L. В УМОВАХ
ЛІСОСТЕПУ ТА ПОЛІССЯ УКРАЇНИ**

Методичні рекомендації

Центральне, 2021

Визначення параметрів екологічної пластичності за урожайністю сортів *Triticum aestivum* L. в умовах Лісостепу та Полісся України / Демидов О. А., Кириленко В. В., Гуменюк О. В., Близнюк Б. В., Вологдіна Г. Б., Замліла Н. П., Пірич А. В., Місюра І. І. / За редакцією доктора с.-г. наук, член-кореспондента НААН України О. А. Демидова. Центральне, 2021. 24 с.

Рецензенти:

Завідувачка лабораторії мікробіологічного методу захисту рослин Інституту захисту рослин НААН України,
доктор с.-г. наук, старший науковий співробітник Г. М. Ткаленко

Старший науковий співробітник відділу біотехнології, генетики і фізіології
Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН України,
кандидат біологічних наук С. В. Пикало

Викладено методичні підходи з визначення параметрів екологічної пластичності за ознакою «урожайність» у сортів пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.) в різних агроекологічних зонах Лісостепу та Полісся з метою виділення генотипів, які поєднують високу продуктивність з оптимальною реакцією на умови вирощування. Урахування особливостей погодних умов зон Лісостепу та Полісся України дало можливість отримати достовірні дані щодо їх відповідності вимогам вирощування пшениці озимої, рівня їх комфортності для реалізації потенційних можливостей культури, ідентифікувати сорти з високою екологічною пластичністю, які здатні в меншій мірі реагувати на коливання умов зовнішнього середовища. Методичні рекомендації ілюстровані фотографіями лабораторії селекції озимої пшениці.

Для екологів та селекціонерів наукових установ, виробничників, студентів і викладачів навчальних закладів сільськогосподарського профілю.

Розглянуто та затверджено до друку
Вченою радою Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН України,
протокол № 2 від 03. 03. 2021 року

За довідками звертатися:

Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла НААН
Адреса: 08853, вул. Центральна, 68, корп. 2, с. Центральне Миронівського району Київської області; факс (04574)–74–446, тел. (04574)–74–135

Формат 60 X 90/21. Тираж 100 пр. Ум. Друк. Арк.. 1,5. Зам. №74

Видавець і виготовлювач ТОВ «ЦП «КОМПРИНТ»

03150, Київ, вул. Предславинська, 28

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру

Суб'єкта видавничої справи Дк 3 4131 від 04.08. 2011 р.

528-05-42, 067-209-54-30

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. Екологічна селекція пшениці м'якої озимої як шлях створення генотипів з широкою адаптацією.....	5
2. Агроекологічні умови зони Лісостепу та Полісся.....	6
3. Особливості визначення параметрів екологічної пластичності показників урожайності <i>Triticum aestivum</i> L. в умовах Лісостепу та Полісся	13
ВИСНОВКИ.....	21
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	23

ВСТУП

Однією з найважливіших задач сільського господарства України є забезпечення населення продуктами рослинництва на основі його біологізації за рахунок формування сталих високопродуктивних агробіоценозів [1, 2]. Шляхи виконання поставленої задачі лежать через інтенсифікацію виробництва сільськогосподарської продукції, значне збільшення врожайності культур та валового збору зерна. Все це можливо здійснити через оптимізацію технологічних процесів за використання матеріалів новітніх розробок науково-дослідних селекційних та аграрновиробничих установ і здобутків досвіду хліборобів [3].

Відомо, що врожайність зернових культур із року в рік значно змінюється, особливо в роки з аномальними погодними умовами [4]. Окрім того, агрокліматичні умови вирощування пшениці озимої на території України відрізняються великою різноманітністю. Континентальність клімату головних сільськогосподарських районів обумовлює можливість посух, суховіїв, пилових буревіїв, сильних морозів взимку та заморозків пізньої весни та ранньої осені, а також інших несприятливих чинників довкілля [5]. Для отримання високих і сталих врожаїв культури велике значення має найбільш повне врахування особливостей природно-кліматичних умов різних регіонів при вирощуванні пшениці озимої [4]. Для цього, на відміну від традиційних підходів, необхідно враховувати наступні аспекти: регіональний характер і екологічна спрямованість; орієнтація не на потенційну, а на реальну продуктивність; стратегія підбору фонів на всіх етапах селекційного процесу; комплексна оцінка параметрів фону; оптимізація пунктів екологічного та державного сортовипробування для селекційних установ; розробка методів оцінки загальної та специфічної адаптивної здатності та стабільності інтегральних показників для виділення екологічно пластичних сортів [6, 7]. Ефективне використання в селекційній практиці поглибленого аналізу результатів методичних підходів до виконання селекційно-екологічних програм на основі математичного забезпечення залежить від теоретичного обґрунтування змісту інформації, необхідної для управління використанням технології формування продуктивності.

Визначення параметрів екологічної пластичності за ознакою «урожайність» у сортів пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.) в різних агроекологічних пунктах Лісостепу та Полісся дозволяє виділити генотипи, які поєднують високу продуктивність з оптимальною реакцією на умови вирощування. Відомо, що один з базових видів людської діяльності, тобто сільське господарство, через забруднення довкілля агрохімікатами та перетворення природних ландшафтів негативно впливає на розмаїття видів як у сільськогосподарських, так і у природних екосистемах. Використання в аграрному виробництві сортів пшениці озимої з високою екологічною пластичністю дозволить зменшити пестицидний пресинг на навколишнє середовище.

1. Екологічна селекція пшениці м'якої озимої як шлях створення генотипів з широкою адаптацією

У вирішенні актуальних проблем адаптивної інтенсифікації рослинництва важлива роль належить селекції та насінництву *Triticum aestivum* L. Над створенням високопродуктивних сортів пшениці озимої, що відповідають параметрам технології екологічного землеробства, успішно працюють вітчизняні селекціонери.

Біологічній системі землеробства відповідає технологія екологічної селекції, принциповою відмінністю якої є створення сортів методами класичної селекції (гібридизація та добір) без використання хімічних засобів захисту рослин, мінерального азоту та ін. Під екологічною селекцією розуміється сукупність прийомів і методів, що забезпечують створення генотипів із максимальним і стійким потенціалом продуктивності в умовах певної зони вирощування при дотриманні екологічно безпечної технології впровадження нових сортів та мінімального накопичення шкідливих речовин у продукції.

Продуктивність агробіоценозу залежить від вдалого поєднання культурного сорту та тієї частини природних живих компонентів, які залишилися від первинної екосистеми [8–11]. Вагомим чинником є урахування взаємодії генотип-середовище (Genotype - Environment Interaction – GEI) за дослідження новостворених сортів пшениці озимої в різних агроекологічних пунктах [12–14]. При вивченні генотипів у різних умовах зон вирощування відбувається зміна рангів за рівнем прояву ознаки та властивості в зв'язку з їх реакцією на умови середовища. Тому добір генотипів в одних умовах може не забезпечувати їх перевагу в інших умовах [15].

Для кількісного оцінювання GEI застосовують різноманітні параметри: компоненти варіанси, ранжування генотипів, коефіцієнт рангової кореляції Спірмена, коефіцієнт генетичної кореляції, показник ефективності фенотипової селекції [16, 17]. Широкого застосування в сортовипробуванні сільськогосподарських культур набув метод S. A. Eberhart та W. A. Russell [18], який дає змогу за відносно простим алгоритмом визначити широту едафокліматичних ареалів культивування сортів рослин. Даний метод використовують також для оцінювання екологічної стабільності та пластичності цінних господарських ознак і властивостей кліматипів [19].

Для коректного оцінювання рівня GEI необхідно створювати сорт за використання різноманітних екологічних середовищ. Це дає змогу випробувати одні і ті ж генотипи в різних умовах і визначити норму їх реакції залежно від впливу абіотичних і біотичних чинників. У наукових публікаціях щодо вивчення проблеми GEI вживають широкий спектр термінів – екологічна стабільність [20], фенотипічна (екологічна) пластичність [21], норма реакції [22]. Під фенотипічною (екологічною) пластичністю розуміють зміну в фенотиповій

експресії генотипу або, математичною мовою, розглядають її як функцію комплексів умов навколишнього середовища [23]. Під стабільністю розуміють здатність сортів формувати певний рівень продуктивності або інших цінних господарських ознак чи властивостей незалежно від умов середовища [24, 25]. За [26–28] фенотиповий рівень прояву ознаки є результатом численних взаємодій генетичної системи рослинного організму та зовнішніх умов досліджуваного середовища. Генотипи, які забезпечують відносно стабільний рівень фенотипового прояву ознак у різних середовищах, характеризуються широкою адаптацією. Форми, які перевершують інші лише в окремих середовищах, є специфічно адаптованими. Інакше кажучи специфічна адаптація тісно переплітається з феноменом взаємодії «генотип - середовище» [29–31]. Проте, на наш погляд, пластичність генотипу відповідає широкій нормі реакції, а стабільність, навпаки, – вузькій. Необхідно також погодитися із думкою дослідників [32], що пластичність (стабільність, норма реакції) не є загальною характеристикою генотипу, а стосується певної ознаки чи комплексу ознак [33–36].

2. Агроекологічні умови зони Лісостепу та Полісся

Дослідження проводили впродовж 2015/16–2017/18 рр. у двох агроекологічних зонах: Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла НААН України (МІП), агроекологічна зона – Центральний Лісостеп (ЦЛ), підзона – Придніпровська височина, агроекологічний район – Північно-Центральний-Правобережно-Придніпровський; Носівська селекційно-дослідна станція МІП (НСДС) агроекологічна зона – Північний Лісостеп (ПЛ), на межі східного Полісся, підзона – Придніпровська низовина, агроекологічний район – Північно-Лівобережно-Придніпровський [37]. Коротка характеристика екологічних умов проведення досліджень наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Коротка характеристика екологічних умов проведення досліджень

Локація	Зона	Координати		Характеристика ґрунтів					
		Пн. широти	Сх. довготи	Тип	Н, %	N	P	K	pH
МІП	ЦЛ	48°56'	32°32'	ЧГМС	3,8	5,9	22,1	9,6	5,8
НСДС	ПЛ	50°93'	31°69'	ЧТМВ	2,6	8,5	12,2	7,5	4,6

Примітка: ЦЛ – Центральний Лісостеп, ПЛ – Північний Лісостеп; Пн. широти – координати північної широти, Сх. довготи – координати східної довготи, ЧГМС – чорнозем глибокий, малогумусний, слабковилугований, ЧТМВ – чорнозем типовий, малогумусний, вилугований, вміст в орному шарі ґрунту: Н – гумусу, N – легкогідролізованого азоту, P – рухомого фосфору, K – обмінного калію; pH – гідролітична кислотність;

Аналіз агроекологічних умов центрального Лісостепу (Л) у роки досліджень проведений на основі щорічних даних агрометеорологічної станції імені В. Ф. Старченко

«Миронівка» [38, 39] та відділу біотехнології, генетики і фізіології МП. Середня багаторічна (СБ) температура повітря в зоні Лісостепу становила 8,3 °С, але в окремі роки спостерігались значні відхилення – від 6,0 до 9,9 °С. Найтеплішим місяцем був липень, найхолоднішим – січень. Середня багаторічна температура повітря в липні становила +20,5 °С, в січні – мінус 4,0 °С. Сума активних температур вище 5 °С складала близько 3000 °С, вище 10 °С – 2700 °С, що свідчить про достатню теплозабезпеченість території (табл. 2).

Таблиця 2. Кількість опадів і температура повітря за вегетаційні періоди пшениці озимої в зоні Лісостепу

Рік	Місяць												Показник	
	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	Σ*	% до СБ
Кількість опадів, мм														
2015/16	27	44	27	46	18	72	52	36	36	92	69	19	538	88
2016/17	37	2	74	44	31	31	33	13	43	24	20	101	453	74
2017/18	19	13	75	52	115	72	37	6	22	33	96	79	619	101
X ¹	62	58	39	42	41	34	30	35	42	55	91	84	613	–
Температура повітря, °С													X ³	± до СБ
2015/16	21,6	18,2	6,9	4,6	2,1	-5,9	2,4	4,1	4,1	15,2	20,1	22,2	9,6	1,3
2016/17	20,9	15,7	6,6	1,3	-1,8	-5,3	-2,7	6,1	10,4	15,4	20,6	21,0	9,0	0,7
2017/18	22,4	17,0	8,5	3,4	2,1	-3	-3,7	-7,2	13,2	18,4	20,2	15,5	8,9	0,6
X ²	19,7	14,4	8,4	1,9	-2,3	-4,0	-3,4	1,5	9,2	15,5	18,5	20,5	8,3	–

Примітка: X¹, X² – середні багаторічні показники за 1980–2015 рр.; X³ – середній показник за рік; Σ* – сума опадів за рік.

Середньорічна температура повітря в даній частині Лісостепу перевищувала СБ показник (8,3 °С) на: 1,3 °С – у 2015/16 р.; 0,7 °С – у 2016/17 р.; 0,6 °С – у 2017/18 р (таблиця 2). У 2015/16 р. річна сума опадів становила 538 мм, або 88 % до СБ показника (613 мм), а максимальний (92 мм) рівень опадів спостерігали в травні, коли інтенсивність ростових процесів має високу залежність від забезпеченості вологою та елементами живлення. У 2016/17 р. річна сума опадів становила 453 мм (74 % від СБ), за максимального (101 мм) зволоження в II–III декадах липня. У 2017/18 р. цей показник був на рівні СБ – 619 мм, з високим рівнем зволоження в грудні та червні.

Досліди паралельно проводили в агроекологічних умовах Полісся (П) Деснянського агроекологічного району на полях НСДС у селекційній сівоzmіні на глибокому, малогумусному, вилугованому чорноземі різного ступеня опідзоленості, легкосуглинкового механічного складу. За багаторічними даними клімат зони Полісся помірно теплий, м'який, з достатнім зволоженням. У середньому за рік температура повітря складає 7,8–9,4 °С (таблиця 3). Найхолоднішим місяцем року є січень, а найтеплішим – липень із

середньомісячною температурою 18,9–21,5 °С. Абсолютний максимум досягає 38–39 °С. У літній період переважають західні і північно-західні вітри. У середньому заморозки на ґрунті закінчуються в кінці квітня – першій декаді травня, а восени починаються в третій декаді вересня. Найпізніші заморозки у повітрі весною можуть бути в кінці травня, а восени найраніше – в кінці вересня. Але в зв'язку з глобальним потеплінням погодні умови в цьому регіоні почали змінюватися [39, 40]. За період досліджень у зоні Полісся України погодні умови варіювали також суттєво (табл. 3).

Таблиця 3. Кількість опадів та температура повітря за вегетаційні періоди пшениці озимої в зоні Полісся

Рік	Місяць												Показники	
	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	Σ*	% до СБ
Кількість опадів, мм														
2015/16	2	27	26	69	42	48	53	35	65	145	39	34	585	116
2016/17	55	9	135	44	59	40	28	29	17	25	44	68	553	110
2017/18	53	40	102	49	113	44	38	7	2	23	101	145	717	143
X ¹	57	46	35	37	31	27	24	27	36	45	65	73	664	–
Температура повітря, °С													X ³	± до СБ
2015/16	20,3	16,9	5,2	3,7	1,5	-7,2	1,2	3,3	11,3	15,0	19,5	21,5	9,4	2,1
2016/17	19,7	13,9	6,1	0,3	-2,4	-5,8	-3,2	5,2	9,1	13,8	18,1	18,9	7,8	0,5
2017/18	20,5	15,0	7,2	2,7	0,9	-3,4	-4,9	2,2	11,3	17,7	19,3	20,4	9,1	1,8
X ²	19,1	13,7	7,3	1,4	-3,4	-5,9	-5,5	-0,5	7,9	15	18,4	20,2	7,3	–

Примітка: X¹, X² – середні багаторічні показники за 1980–2015 рр.; X³ – середній показник за рік; Σ* – сума опадів за рік.

Середньорічна температура повітря перевищувала СБ (7,3 °С) на: 2,1 °С – у 2015/16 р.; 0,5 °С – у 2016/17 р.; 1,8 °С – у 2017/18 р. У 2015/16 р. річна сума опадів становила 585 мм, або 116 % до СБ показника (503 мм) за максимального (145 мм) рівня опадів в травні у фазу колосіння, коли водночас з інтенсивним ростом стебла внаслідок різкого видовження передостаннього міжвузля відбувається вихід колоса з піхви верхнього листка. У 2016/17 р. річна сума опадів становила 553 мм (110 % від СБ), за максимального (135 мм) зволоження в жовтні. У 2017/18 р. цей показник був на рівні 717 мм (143 % від СБ), за високого рівня зволоження в жовтні, грудні, червні та липні.

У проведених дослідях диференціацію вихідних даних за фактором «нерегульовані (екологічні) умови середовища» забезпечило вивчення сортів пшениці озимої з різними умовами вегетації в окремих пунктах кліматичних зон Лісостепу та Полісся. У якості вихідного матеріалу досліджено десять сортів пшениці м'якої озимої: Подолянка – стандарт, Трудівниця миронівська, Горлиця миронівська, МІП Валенсія, Господиня миронівська, МІП

Княжна, Вежа миронівська, МП Дніпрянка, Естафета миронівська, Грація миронівська. Контрастні погодні умови в зоні Центрального Лісостепу України за роки проведення досліджень підтвердили зміни клімату в бік нестабільності та більшої континентальності.

Для характеристики погодних умов за вологозабезпеченістю використовували гідротермічний коефіцієнт Г. Т. Селянінова (ГТК), який розраховували за відношенням суми опадів (у мм) за період з середньодобовими температурами повітря вище 10 °С, до суми температур за цей же період, розділеної на 10. За значеннями ГТК визначали комфортність умов вегетації для росту та розвитку рослин пшениці озимої: 0,4–0,7 – дуже посушливі; 0,8–1,0 – посушливі; 1,1–1,3 – слабо посушливі; 1,4–1,6 – оптимальні; більше 1,6 – надто зволожені [40].

У зоні Лісостепу спостерігали розбіжні умови періоду активної вегетації пшениці озимої за роками досліджень. 2015/16 р мав загальний ГТК = 1,15, що є нормою для оптимального росту й розвитку рослин пшениці, хоча передпосівний період (серпень, 2015 р.) був посушливим (ГТК = 0,41), для решти періодів вегетаційного року відмічали ГТК у межах 1,14–1,95. У період жнив (липень, 2016 р.) була мінімальна кількість опадів (ГТК = 0,6), що сприяло вчасному збиранню врожаю зерна сортів пшениці озимої. Середня за дослідом урожайність становила 7,30 т/га, перевищення над стандартом Подолянка – 0,89 г/га. У 2016/17 р. спостерігали ґрунтово-повітряну осінню та весняно-літню посуху. Розподіл опадів був дуже нерівномірним, хоча за період активної вегетації рослин пшениці озимої ГТК дорівнював 1,16. Так, у жовтні 2016 р. перед припиненням осінньої вегетації відмічали значну кількість опадів (ГТК = 3,79), а в період відновлення весняної вегетації (квітень, 2017 р.) ГТК становив 1,36. Решта місяців за вологозабезпеченістю були дуже посушливими (ГТК 0,04–0,49). У липні випало 45,46 мм опадів, що пригальмувало жнива та знизило якість зерна пшениці. За таких несприятливих кліматичних умов середня урожайність за дослідом становила 3,76 т/га (нижче стандарту на 0,27 т/га). Погодні умови 2017/18 р. були посушливими з загальним ГТК за період активної вегетації 0,98. Передпосівний та посівний період мав ГТК 0,27 та 0,26, відповідно. Надмірну кількість опадів спостерігали в жовтні 2017 р. та в кінці червня 2018 р.: 71,12 мм (ГТК = 2,87) і 95,73 мм (ГТК = 1,53) відповідно. Вірогідно, такі погодні умови негативно вплинули на формування середньої врожайності за дослідом (6,05 т/га), яка була нижче за стандарт на 0,26 т/га (рис. 1).

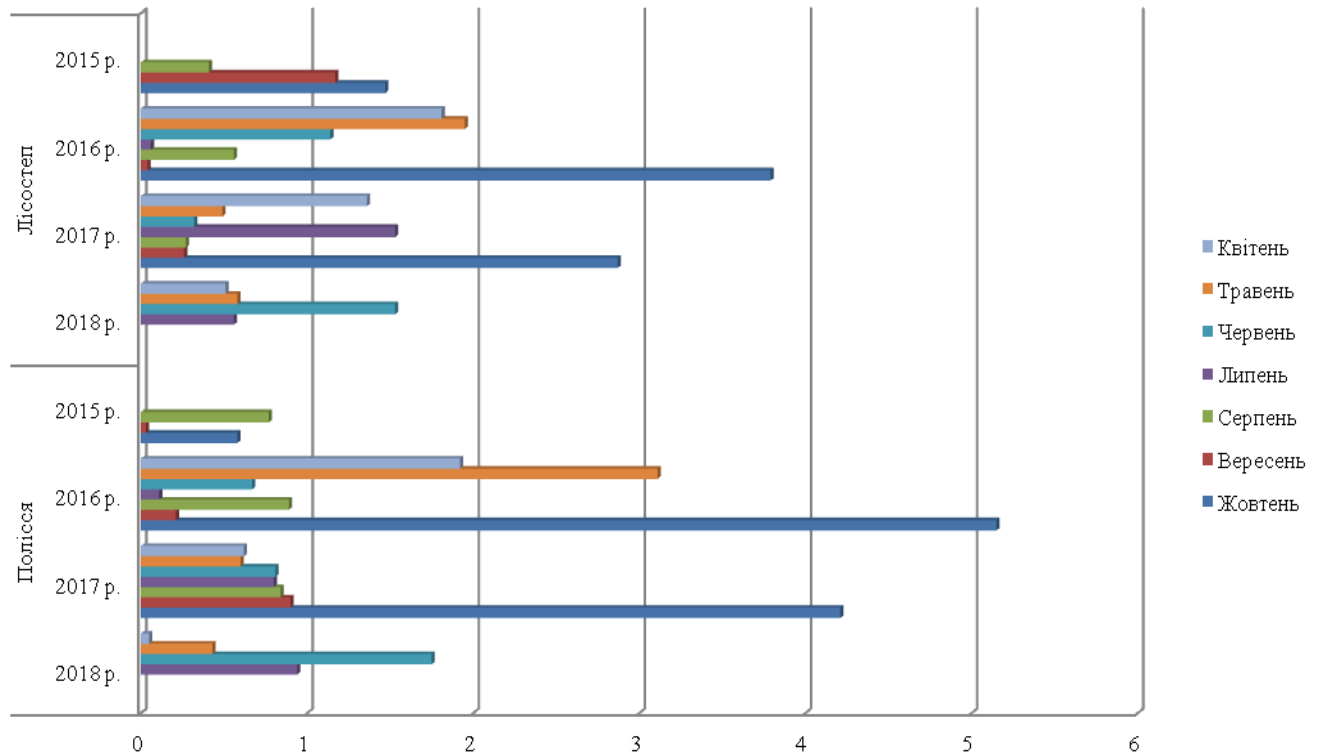


Рис. 1 Характеристика умов вегетаційних періодів пшениці озимої за вологозабезпеченістю (ГТК) у Лисостепу та Поліссі

У зоні Полісся за роками досліджень також відмічали відмінні умови росту й розвитку пшениці озимої. У 2015/16 р. за період активної вегетації рослин ГТК становив 1,03 і був не характерний для агрокліматичних умов зони. Однак передпосівний період у 2015 р. був дуже посушливим: ГТК дорівнював 0,77 у серпні і 0,03 – у вересні. За таких умов *насіннєве ложе* не було підготовлено до сівби пшениці озимої, ґрунт навколо насіння був надто *сухим*, що не *сприяло появі дружніх сходів*. Але з часу відновлення весняної вегетації та в період колосіння пшениці озимої ГТК становив 1,92 і 3,11 відповідно, що позитивно вплинуло на формування середньої врожайності за дослідом (8,71 т/га). У 2016/17 р. ГТК за період активної вегетації рослин пшениці озимої був на рівні 1,3 за рахунок надмірної кількості опадів (126,3 мм) у жовтні 2016 р. перед припиненням осінньої вегетації (ГТК = 5,15). Умови за вологозабезпеченістю для решти місяців були посушливими (ГТК 0,60–0,81). Середня врожайність сортів пшениці озимої за дослідом становила 8,94 т/га (вище за стандарт на 0,21 т/га). Погодні умови 2017/18 р. з ГТК за період активної вегетації 1,31 були несприятливими для росту та розвитку пшениці озимої. Передпосівний та посівний періоди мали ГТК на рівні 0,89 і 0,21 відповідно. Надмірну кількість (88,39 мм) опадів спостерігали в жовтні 2017 р. перед припиненням осінньої вегетації (ГТК = 4,21). У критичні періоди росту й розвитку рослин пшениці озимої 2018 р. ГТК становив: квітень – 0,05, травень – 0,43.

Вірогідно, що такі погодні умови мали негативний вплив на формування середньої врожайності за дослідом (5,65 т/га), яка була нижче за стандарт на 0,42 т/га.

За результатами аналізу погодних умов як за місяцями, так і взагалі за вегетаційним періодом встановлена суттєва відмінність динаміки екологічних факторів (сума температур повітря, кількість опадів, величина ГТК). У першій частині вегетаційного періоду формуються вегетативна, репродуктивна та генеративна сфери рослин, а в другій – відбувається цвітіння, запліднення та формування нового насінневого покоління. Тому вимоги до зовнішнього середовища та реакція на зміну динаміки екологічних умов є специфічними для кожної частини.

Для характеристики впливу умов середовища на продукційний процес, а саме формування певного рівня врожайності *Triticum aestivum* L. та лінійних параметрів продукційного процесу (висоти рослин), використовували показник «відносний індекс середовища» (ВІС), що виводить різницю між середньою врожайністю всіх сортів конкретного року вивчення та їх середньою врожайністю за весь період дослідження у відсотковому значенні [39, 41]. Розрахунки проводили за формулою:

$$\text{ВІС} = 100 \% + [(\text{Пр} - \text{Пср}) \cdot \text{Пср}] \times 100 \%,$$

Пр – біометричний показник середнього значення конкретної ознаки всіх сортів конкретного року вивчення;

Пср – середній показник ознаки всіх сортів за весь період вивчення.

За оптимум прийнято показник 100 %. Менше значення відображає негативний вплив умов середовища на проходження продукційних процесів, а вищий показник – сприятливий вплив.

Відомо, що врожайність зерна *Triticum aestivum* L. є інтегральним показником реакції генотипів на коливання умов зовнішнього середовища, їх здатності формувати стабільний рівень ознаки в стресових умовах вирощування. Але в реальності показники врожайності залежать також від ряду суб'єктивних чинників, що негативно впливають на їхній облік та достовірність. Тому визначення показника ВІС за висотою рослин, як основним параметром, від якого залежить урожай біомаси, є більш об'єктивним.

Для характеристики середовища на основі відносних показників ГТК (ВГТК) та ВІС використовували шкалу: якщо величини продукційного процесу коливаються в межах 83–117 % (сприятливі умови за ГТК) – умови середовища близькі до норми; менше 83 % – суттєво низькі; понад 117 % – суттєво високі. За показників ВГТК у межах 58–83 % і 117–133 % умови вегетації вважаються помірно несприятливими, а нижчі за 58 % і вищі за 133 % – незадовільними.

Умови вегетації для пшениці озимої за ВГТК були сприятливими: в агроекологічній зоні Лісостепу – за весь період досліджень, у зоні Полісся – у 2016 р., за показниками ВІС,

розрахованими на основі висоти рослин, вегетаційні періоди були близькими (86–112 %) до норми для всіх варіантів дослідів (рис. 2).

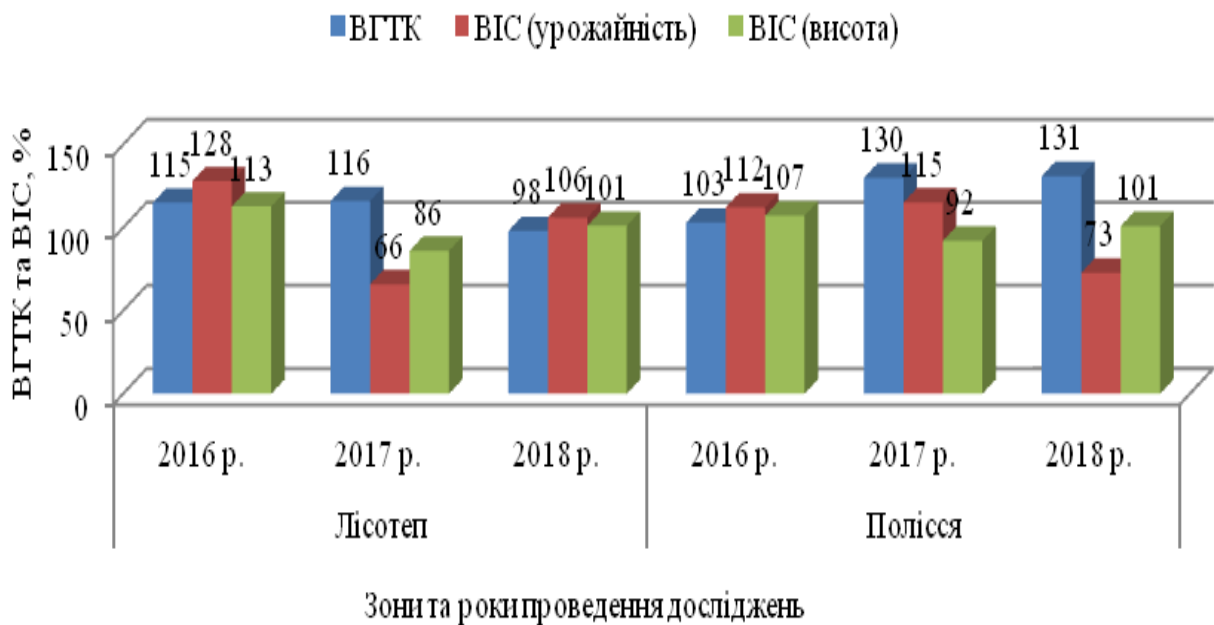


Рис. 2 Варіювання складових продукційного процесу пшениці озимої залежно від гідротермічного режиму

У зоні Лісостепу показник ВІС, розрахований на основі урожайності, був суттєво високим (128 %) в 2016 р. і низьким (66 %) – в 2017 р. У зоні Полісся в 2018 р. (73 %) цей показник також відносився до істотно низького.

Слід зауважити, що в зоні Лісостепу умови вегетації пшениці озимої в 2016 р. (ВГТК=115 %) і 2017 р. (ВГТК=116 %) були наближені до помірно несприятливих. У 2016 році, дуже посушливими були тільки передпосівний період та час збирання, що не мало негативного впливу на проходження продукційного процесу в пшениці озимої. На решті етапів вегетації формування вегетативної маси та врожайності зерна проходило в сприятливих за вологозабезпеченістю умовах: максимальні по досліді показники ВІС за урожайністю та висотою рослин – 128 і 113 % відповідно. На противагу в 2017 р. розподіл опадів був дуже нерівномірним, посушливі умови відмічали на ранніх і більш пізніх етапах вегетації, коли формуються елементи структури врожаю, що негативно вплинуло на проходження продукційного процесу в пшениці озимої: мінімальні по досліді показники ВІС за урожайністю та висотою рослин – 66 і 86 % відповідно. Несприятливі посушливі умови 2016/17 р. адекватно (в бік суттєвого зменшення) позначились на формуванні вегетативної маси та врожаю в цілому.

У зоні Полісся умови вегетації пшениці озимої в 2016/17 році (ВГТК=130 %) і 2018 р. (ВГТК=131 %) були наближені до незадовільних. У 2017 р. під час відновлення весняної

вегетації, яке відбулося четвертого березня, та початку трубкування середня температура повітря (5,2 °C) була істотно вище за середнє багаторічне значення (-0,5 °C) з достатньою кількістю опадів (29 мм, 107 % до норми), що сприяло швидкому відростанню та інтенсивному росту рослин пшениці озимої. У 2017/18 р. за більш пізнього (дев'ятого квітня) часу відновлення весняної вегетації середня температура повітря в той же період була 2,2 °C, а кількість опадів у березні та квітні – суттєво нижче (7 мм, 26 % і 2 мм, 6 % відповідно), в червні і липні – істотно вище (101 мм, 155 % і 145 мм, 199 % відповідно), що призвело до вилягання посівів і негативно вплинуло на формування врожаю в цілому.

За результатами досліджень у зоні Лісостепу простежувалась тенденція: за зниження ВІС по висоті рослин зменшувалась врожайність зерна пшениці озимої. За умови збалансованого поєднання умов року (ВГТК), протікання продукційного процесу в пшениці озимої (ВІС за урожайністю, висотою рослин) всі три показники наближались до 100 %. У зоні Полісся більший вплив мав розподіл опадів за критичними періодами вегетації: посуха в період відростання та трубкування або перезволоження під час наливу та формування зерна (2017/18 р.). Це можна пояснити тим, що в даній агроєкологічній зоні відхилення середніх місячних показників від середніх багаторічних у відсотках за кількістю опадів є більш значущими, ніж у зоні Лісостепу.

Таким чином, метеорологічні умови років досліджень значно відрізнялись за температурним режимом та вологозабезпеченістю як в цілому за вегетаційний період пшениці озимої, так і за окремими фазами розвитку рослин пшениці озимої. Урахування особливостей погодних умов зон Лісостепу та Полісся України дало можливість отримати достовірні дані щодо їх відповідності вимогам вирощування пшениці озимої, рівня їх комфортності для реалізації потенційних можливостей культури, ідентифікувати сорти з високою екологічною пластичністю, які здатні в меншій мірі реагувати на коливання умов зовнішнього середовища.

3. Особливості визначення параметрів екологічної пластичності показників урожайності *Triticum aestivum* L. в умовах Лісостепу та Полісся

Урожайність є комплексним показником адаптації генотипу до умов вирощування. У дослідженнях спостерігали значне варіювання урожайності в роки вивчення за різними погодними умовами із врахуванням агроєкологічних пунктів випробування (Лісостеп, Полісся).

За останні роки в більшості наукових робіт, що стосуються екологічної пластичності, використовують методику «Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ» [42]. Ймовірно, це зумовлено тим, що вона дозволяє визначити не тільки пластичність будь-якого сорту, а також і стабільність.

Для визначення екологічної пластичності пшениці використали модель запропоновану в методичних рекомендаціях, яку формально можна репрезентувати у вигляді функції [42, 43]. Досліджено десять сортів пшениці м'якої озимої (Подільська – стандарт, Трудівниця миронівська, Горлиця миронівська, МПП Валенсія, Господиня миронівська, МПП Княжна, Вежа миронівська, МПП Дніпрянка, Естафета миронівська, Грація миронівська), вирощеної в окремих пунктах кліматичних зон Лісостепу та Полісся впродовж 2015/16–2017/18 рр.

На першому етапі встановлено факт наявності чи відсутності взаємодії «сорт×зона×рік» для всіх досліджуваних сортів за допомогою дисперсійного аналізу. Результати дослідження представлені в таблиці 4.

Таблиця 4. Результати дисперсійного аналізу врожайності сортів пшениці озимої, вирощеної в окремих пунктах кліматичних зон Лісостепу та Полісся, 2016–2018 рр.

Фактор	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	Вплив фактора, %	Внесок у дисперсію, %
Сорт	21,28	9	2,36	52,43	0,00	2,4	0,4
Рік	203,16	2	101,58	2252,71	0,00	22,9	19,3
Зона	255,59	1	255,59	5667,93	0,00	28,8	48,5
Сорт*Рік	18,37	18	1,02	22,63	0,00	2,1	0,2
Сорт*Зона	20,49	9	2,28	50,48	0,00	2,3	0,4
Рік*Зона	323,85	2	161,92	3590,89	0,00	36,4	30,7
Сорт*Рік*Зона	37,70	18	2,09	46,45	0,00	4,2	0,4
Похибка	8,12	180	0,05			0,9	0,0

Як вказують дані таблиці 4, найбільший вплив на врожайність пшениці озимої мала взаємодія факторів «рік × зона» – 36,4 %. Достовірно, але менший вплив відмічено фактору «зона», який становив 28,8 % та фактору «рік», який становив 22,9 %. Таким чином, параметризація гіпотези через проведений дисперсійний аналіз засвідчує, що домінуюча значущість за впливом на урожайність достовірно залежала від кліматичної зони та року (стресові фактори) та від їх взаємодії.

Для розрахунку екологічної пластичності урожайності сортів пшениці озимої у різних екологічних кліматопах (пунктах) Лісостепу і Полісся, використовували методику «Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ» яку ми частково модифікували для досліджень, тобто були враховані пункти двох агроекологічних зон та три роки дослідження пшениці озимої (у методиці досліджували пшеницю яру). Для об'єднання і перетворення ефектів навколишнього середовища та взаємодії генотипу з умовами вирощування нами використані вихідні урожайності, які подані у таблицях 5, 6, відповідно до агроекологічних зон вирощування та внесли дані

середнього рівня її урожайності з врахуванням сорту та років дослідження по кожному пункту (умовах випробування) окремо.

Таблиця 5. Вплив екологічних років (середовища) досліджень на урожайність сортів пшениці озимої за вирощування в зоні Лісостепу

Сорт, стандарт	Рік			Статистичні параметри		
	2015/16	2016/17	2017/18	$\sum Y_i$	Y_i	bi
Подолянка (стандарт)	6,41	4,03	6,31	16,75	5,58	0,72
Трудівниця МИР	7,61	4,19	5,93	17,73	5,91	0,95
Горлиця МИР	8,34	3,68	5,79	17,81	5,94	1,28
МПП Валенсія	7,91	3,91	6,01	17,83	5,94	1,11
Господиня МИР	6,97	4,11	6,36	17,44	5,81	0,84
МПП Княжна	6,59	3,45	5,11	15,15	5,05	0,87
Вежа МИР	6,90	3,33	5,32	15,55	5,18	0,99
МПП Дніпрянка	7,15	3,77	6,59	17,51	5,84	0,99
Естафета МИР	7,81	3,41	6,28	17,50	5,83	1,25
Грація МИР	7,28	3,68	6,79	17,75	5,92	1,07
$\sum Y_j$	72,97	37,56	60,49	171,02	57,01	-
Y_j	7,30	3,76	6,05	-	-	-
Y_x	5,70			-	-	-
I_j	1,60	-1,94	0,35	-	-	-

Примітки: МИР – миронівська, Y_i – середня врожайність сорту за три роки, bi – коефіцієнт лінійної регресії, Y_j – середня врожайність за рік, Y_x – середня врожайність за дослідом, I_j – індекс умов середовища.

Сумуючи урожай по сортах за роками у Лісостепу (табл. 5), визначили середній врожай за роками (Y_j) та сортами (Y_i). Середній врожай за дослідом (Y_x) вираховували за формулою:

$$Y_x = \frac{\sum_{ij} Y_{ij}}{v \cdot n},$$

де $\sum_{ij} Y_{ij}$ – сума врожаю по сортах та роках;

v – кількість сортів;

n – кількість років;

$$Y_x = (6,41+4,03+6,31+7,61+4,19+5,39+8,34+3,68+5,79+7,91+3,91+6,01+6,97+4,11+6,36+6,59+3,45+5,11+6,9+3,33+5,32+7,15+3,77+6,59+7,81+3,41+6,28+7,28+3,68+6,79) / (10 \cdot 3) = 170,48/30 = 5,70 \text{ т/га.}$$

Для вирахування коефіцієнта лінійної регресії bi спочатку необхідно встановити індекс умов середовища I_j :

$$I_j = [(\sum_i \sum_j Y_{ij}/v) - (\sum_i \sum_j Y_{ij}/(v \cdot n))],$$

де $\sum Y_{ij}$ – сума врожаю всіх сортів в i -м році;

$\sum_i \sum_j Y_{ij}$ – сума врожаю всіх сортів за всіма роками;

v – кількість сортів;

n – кількість років.

У досліді індекси умов середовища I_j за роками досліджень для зони Лісостепу дорівнюють:

$$\begin{aligned} I_{j(2015/16)} &= ((6,41+7,61+8,34+7,91+6,79+6,59+6,9+7,15+7,81+7,28)/10)- \\ &((6,41+4,03+6,31+7,61+4,19+5,39+8,34+3,68+5,79+7,91+3,91+6,01+6,97+4,11+6,36+6,59+3 \\ &,45+5,11+6,9+3,33+5,32+7,15+3,77+6,59+7,81+3,41+6,28+7,28+3,68+6,79)\div(10*3)) = 7,30- \\ &5,70 = 1,60; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{j(2016/17)} &= ((4,03+4,19+3,68+3,91+4,11+3,45+3,33+3,77+3,41+3,68)/10)- \\ &((6,41+4,03+6,31+7,61+4,19+5,39+8,34+3,68+5,79+7,91+3,91+6,01+6,97+4,11+6,36+6,59+3 \\ &,45+5,11+6,9+3,33+5,32+7,15+3,77+6,59+7,81+3,41+6,28+7,28+3,68+6,79)\div(10*3)) = 3,76- \\ &5,70 = -1,94; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{j(2017/18)} &= ((6,31+5,93+5,79+6,01+6,36+5,11+5,32+6,59+6,28+6,79)/10)- \\ &((6,41+4,03+6,31+7,61+4,19+5,39+8,34+3,68+5,79+7,91+3,91+6,01+6,97+4,11+6,36+6,59+3 \\ &,45+5,11+6,9+3,33+5,32+7,15+3,77+6,59+7,81+3,41+6,28+7,28+3,68+6,79)\div(10*3)) = 6,05- \\ &5,70 = 0,35. \end{aligned}$$

Таблиця 6. Вплив екологічних років (середовища) досліджень на урожайність сортів пшениці озимої за вирощування в зоні Полісся

Сорт, стандарт	Рік			Статистичні параметри		
	2015/16	2016/17	2017/18	$\sum Y_i$	Y_i	b_i
Подільська (стандарт)	9,97	8,73	6,07	24,77	8,26	0,88
Трунівська МІР	8,37	8,56	5,35	22,28	7,43	0,86
Горлиця МІР	6,63	8,85	4,58	20,06	6,69	0,9
МІП Валенсія	7,33	9,65	5,78	22,76	7,59	0,78
Господиня МІР	8,93	9,62	4,87	23,42	7,81	1,22
МІП Княжна	8,28	8,17	5,29	21,74	7,25	0,81
Вежа МІР	8,88	9,02	5,96	23,86	7,95	0,82
МІП Дніпрянка	9,33	9,42	6,25	25,00	8,33	0,86
Естафета МІР	9,69	8,06	6,95	24,70	8,23	0,5
Грація МІР	9,66	9,27	5,42	24,35	8,12	1,04
$\sum Y_j$	87,07	89,35	56,52	232,94	77,65	-
Y_j	8,71	8,94	5,65	-	-	-
Y_x	7,76			-	-	-
I_j	0,94	1,17	-2,11	-	-	-

Примітки: МІР – миронівська, Y_i – середня врожайність сорту за три роки, b_i – коефіцієнт лінійної регресії, Y_j – середня врожайність за рік, Y_x – середня врожайність за дослідом, I_j – індекс умов середовища.

Сукупність індексів характеризує мінливість умов, за яких вирощували сорти. Варто відмітити, що $\sum_{j=1}^n = 0$. У досліді відмінність між позитивним та від'ємним індексом

середовища є наслідком математичного округлення при визначенні середньої врожайності. Кращі умови для росту й розвитку сортів складаються за позитивного значення I_j , гірші – за від’ємного. Отже в зоні Лісостепу більш сприятливим роком визначено 2015/16 р. – $I_j = +1,60$, гірші умови вирощування зазначені в 2016/17 р. – $I_j = -1,94$.

Середній врожай за дослідом (Y_x) для зони Полісся (табл. 6) складав:

$$Y_x = ((9,97+8,73+6,07+8,37+8,56+5,35+6,63+8,85+4,58+7,33+9,65+5,78+8,93+9,62+4,87+8,28+8,17+5,29+8,88+9,02+5,96+9,33+9,42+6,25+9,69+8,06+6,95+9,66+9,27+5,42) \div (10*3)) = 232,94 \div 30 = 7,76 \text{ т/га.}$$

Індекси умов середовища I_j за роками досліджень для зони Полісся дорівнюють:

$$\underline{I_{j(2015/16)}} = ((9,97+8,37+6,63+7,33+8,93+8,28+8,88+9,33+9,69+9,66)/10) - ((9,97+8,73+6,07+8,37+8,56+5,35+6,63+8,85+4,58+7,33+9,65+5,78+8,93+9,62+4,87+8,28+8,17+5,29+8,88+9,02+5,96+9,33+9,42+6,25+9,69+8,06+6,95+9,66+9,27+5,42) \div (10*3)) = 8,71 - 7,76 = 0,94;$$

$$\underline{I_{j(2016/17)}} = ((8,73+8,56+8,85+9,65+9,62+8,17+9,02+9,42+8,06+9,27)/10) - ((9,97+8,73+6,07+8,37+8,56+5,35+6,63+8,85+4,58+7,33+9,65+5,78+8,93+9,62+4,87+8,28+8,17+5,29+8,88+9,02+5,96+9,33+9,42+6,25+9,69+8,06+6,95+9,66+9,27+5,42) \div (10*3)) = 8,94 - 7,76 = 1,17;$$

$$\underline{I_{j(2017/18)}} = ((6,07+5,35+4,58+5,78+4,87+5,29+5,96+6,25+6,95+5,42)/10) - ((9,97+8,73+6,07+8,37+8,56+5,35+6,63+8,85+4,58+7,33+9,65+5,78+8,93+9,62+4,87+8,28+8,17+5,29+8,88+9,02+5,96+9,33+9,42+6,25+9,69+8,06+6,95+9,66+9,27+5,42) \div (10*3)) = 5,65 - 7,76 = -2,11.$$

У зоні Полісся більш сприятливим роком визначено 2016/17 р. – $I_j = +1,17$, гірші умови вирощування були 2017/18 р. – $I_j = -2,11$.

За рахунок отриманих даних ми мали можливість вирахувати коефіцієнт регресії за формулою:

$$b_i = \frac{\sum_j Y_{ij} I_j}{\sum_j I_j^2},$$

де $\sum_j Y_{ij} I_j$ – сума добутків урожаю i – го сорту в j – м році на відповідну величину індексу умов середовища;

$\sum_j I_j^2$ – сума квадратів індексу умов середовища;

Відповідно до формули вираховували коефіцієнт лінійної регресії для кожного сорту за роками в зоні вирощування – Лісостеп:

$$b_i \text{ (Подольянка St)} = (6,41*1,6+4,03*(-1,94)+6,31*0,35) \div (1,6^2+(-1,94^2)+0,35^2) = 0,72;$$

$$b_i \text{ (Трудівниця МИР)} = (7,61*1,6+4,19*(-1,94)+5,93*0,35) \div (1,6^2+(-1,94^2)+0,35^2) = 0,9;$$

$$b_i \text{ (Горлиця МИР)} = (8,34*1,6+3,68*(-1,94)+5,79*0,35) \div (1,6^2+(-1,94^2)+0,35^2) = 1,28;$$

$$bi_{\text{ (МПП Валенсія) }} = (7,91*1,6+3,91*(-1,94)+6,01*0,35) \div (1,6^2+(-1,94^2)+0,35^2) = 1,1;$$

$$bi_{\text{ (Господиня МИР) }} = (6,97*1,6+4,11*(-1,94)+6,36*0,35) \div (1,6^2+(-1,94^2)+0,35^2) = 0,84;$$

$$bi_{\text{ (МПП Княжна) }} = (6,59*1,6+3,45*(-1,94)+5,11*0,35) \div (1,6^2+(-1,94^2)+0,35^2) = 0,87;$$

$$bi_{\text{ (Вежа МИР) }} = (6,9*1,6+3,33*(-1,94)+5,32*0,35) \div (1,6^2+(-1,94^2)+0,35^2) = 0,99;$$

$$bi_{\text{ (МПП Дніпрянка) }} = (7,15*1,6+3,77*(-1,94)+6,59*0,35) \div (1,6^2+(-1,94^2)+0,35^2) = 0,99;$$

$$bi_{\text{ (Естафета МИР) }} = (7,81*1,6+3,41*(-1,94)+6,28*0,35) \div (1,6^2+(-1,94^2)+0,35^2) = 1,25;$$

$$bi_{\text{ (Грація МИР) }} = (7,28*1,6+3,68*(-1,94)+6,79*0,35) \div (1,6^2+(-1,94^2)+0,35^2) = 1,0.$$

Вирахували коефіцієнт лінійної регресії для кожного сорту за роками в зоні вирощування – Полісся:

$$bi_{\text{ (Подольнка St) }} = (9,97*0,94+8,73*1,17+6,07*(-2,11)) \div (0,94^2+1,17^2+(-2,11)^2) = 0,88;$$

$$bi_{\text{ (Трудівниця МИР) }} = (8,37*0,94+8,56*1,17+5,35*(-2,11)) \div (0,94^2+1,17^2+(-2,11)^2) = 0,86;$$

$$bi_{\text{ (Горлиця МИР) }} = (6,63*0,94+8,85*1,17+4,58*(-2,11)) \div (0,94^2+1,17^2+(-2,11)^2) = 0,90;$$

$$bi_{\text{ (МПП Валенсія) }} = (7,33*0,94+9,65*1,17+5,78*(-2,11)) \div (0,94^2+1,17^2+(-2,11)^2) = 0,78;$$

$$bi_{\text{ (Господиня МИР) }} = (8,93*0,94+9,62*1,17+4,87*(-2,11)) \div (0,94^2+1,17^2+(-2,11)^2) = 1,22;$$

$$bi_{\text{ (МПП Княжна) }} = (8,28*0,94+8,17*1,17+5,29*(-2,11)) \div (0,94^2+1,17^2+(-2,11)^2) = 0,81;$$

$$bi_{\text{ (Вежа МИР) }} = (8,88*0,94+9,02*1,17+5,96*(-2,11)) \div (1,6^2+(-1,94^2)+0,35^2) = 0,82;$$

$$bi_{\text{ (МПП Дніпрянка) }} = (9,33*0,94+9,42*1,17+6,25*(-2,11)) \div (1,6^2+(-1,94^2)+0,35^2) = 0,86;$$

$$bi_{\text{ (Естафета МИР) }} = (9,69*0,94+8,06*1,17+6,95*(-2,11)) \div (1,6^2+(-1,94^2)+0,35^2) = 0,50;$$

$$bi_{\text{ (Грація МИР) }} = (9,66*0,94+9,27*1,17+5,65*(-2,11)) \div (1,6^2+(-1,94^2)+0,35^2) = 1,04.$$

Коефіцієнт лінійної регресії урожаю сортів bi вказує їх реакцію на зміну умов вирощування. Він може приймати значення більше і менше одиниці та бути рівним їй. Чим більше значення коефіцієнта $bi > 1$, тим більшою чутливістю володіють сорти. В умовах агроекологічної зони Лісостепу генотипи – Горлиця миронівська ($bi = 1,28$), Естафета миронівська (1,25), МПП Валенсія (1,10), Грація миронівська (1,07); в умовах агроекологічної зони Полісся – Господиня миронівська (1,22), Грація миронівська (1,04) характеризували високою чутливістю до змін умов вирощування. Зазвичай вони вимогливі до високого рівня агротехнічних заходів, оскільки лише в цьому випадку отримаємо від них максимум віддачі.

Сорт Грація миронівська, у дослідженнях (у межах похибки) в Лісостепу ($bi=1,07$) і Поліссі ($bi=1,04$) наближений до умов коли $bi=1$, що відповідає цілковитій відповідності зміни урожайності сорту зміні умов вирощування.

Для різних екологічних зон вирощування конкурентоспроможних у сучасному виробництві сортів перспективними є генотипи з підвищеним рівнем урожайності та стабільним її проявом за роками.

Варто відзначити групу сортів Господиня миронівська (0,84), МПП Княжна (0,87), Трудівниця миронівська (0,95), Вежа миронівська, МПП Дніпрянка (0,99) у тому числі та сорт-стандарт Подольнка ($bi = 0,75$), які в умовах агроекологічної зони Лісостепу,

демонстрували меншу реакцію на зміни умов вирощування ($bi < 1$, 60 % від досліджуваних сортів), тому рекомендуємо їх для вирощування на екстенсивному фоні, який дасть можливість отримати максимум врожаю при мінімальних затратах.

У зоні Полісся в сортів пшениці МПП Княжна – 0,81; Трудівниця миронівська – 0,86; Вежа миронівська – 0,82; МПП Дніпрянка – 0,86; Естафета миронівська $bi = 0,50$; МПП Валенсія – 0,78; Подолянка – стандарт – 0,88; Горлиця миронівська – 0,90 визначено найбільшу (80 %) частку генотипів, які володіють стабільністю за рокам вивчення, також визначено коефіцієнт $bi < 1$ нижче одиниці, що вказує на вирощування за використання екстенсивного фону. Вони являють собою більшу економічну цінність, ніж сорти із потенційно високими показниками, але з значним їх варіюванням.

У проведених дослідах диференціацію вихідних даних за фактором «нерегульовані (екологічні) умови середовища» забезпечило вивчення сортів пшениці озимої в 2015/16–2017/18 рр. з різними умовами вегетації в окремих пунктах кліматичних зон Лісостепу та Полісся (табл. 7).

Таблиця 7. Вплив екологічного середовища (рік) досліджень на урожайність сортів пшениці озимої в зонах

Сорт, стандарт	Лісостеп			Полісся			Статистичні параметри		
	2015/16 р.	2016/17 р.	2017/18 р.	2015/16 р.	2016/17 р.	2017/18 р.	Y_i	bi	S^2_{di}
Подолянка (стандарт)	6,41	4,03	6,31	9,97	8,73	6,07	6,92	0,97	0,04
Трудівниця МИР	7,61	4,19	5,93	8,37	8,56	5,35	6,67	1,06	0,02
Горлиця МИР	8,35	3,68	5,79	6,63	8,85	4,58	6,31	0,99	0,18
МПП Валенсія	7,91	3,91	6,01	7,33	9,65	5,78	6,77	0,73	0,14
Господиня МИР	6,97	4,11	6,36	8,93	9,62	4,87	6,81	0,98	0,31
МПП Княжна	6,59	3,45	5,11	8,28	8,17	5,29	6,15	1,02	0,01
Вежа МИР	6,90	3,33	5,32	8,88	9,02	5,96	6,57	1,04	0,00
МПП Дніпрянка	7,15	3,77	6,59	9,33	9,42	6,25	7,09	1,88	0,04
Естафета МИР	7,81	3,41	6,28	9,69	8,06	6,95	7,03	1,20	1,14
Грація МИР	7,28	3,68	6,79	9,66	9,27	5,42	7,02	1,13	0,02
Y_j	7,30	3,76	6,05	8,71	8,94	5,65	6,73		
Y_x	6,73						-	-	-
I_j	0,57	-2,97	-0,68	1,98	2,21	-1,08			

Примітки: МИР – миронівська, Y_i – середня врожайність сорту за три роки, bi – коефіцієнт лінійної регресії, S^2_{di} – варіанса стабільності, Y_j – середня врожайність за рік, Y_x – середня врожайність за дослідом, I_j – індекс умов середовища.

Показник середньої врожайності (Y_i) генотипу в усіх середовищах не повністю відображає суть явища адаптації, адже успадковується не величина певної ознаки, а норма

реакції генотипу. Реакція сортів у роки, сприятливі для вегетації пшениці озимої, свідчить про їх продуктивний потенціал, а в несприятливі роки – про їх адаптивність [44]. За продуктивним потенціалом виділили сорти: в зоні Лісостепу (2015/16 р., $I_j=0,57$ т/га) – Горлиця миронівська з максимальною врожайністю 8,35 т/га, в зоні Полісся (2016/17 р.; $I_j = 2,21$ т/га) – МПП Валенсія, Господиня миронівська і МПП Дніпрянка (9,65; 9,62 і 9,42 т/га відповідно) (табл. 6.4). Слід зауважити, що в зоні Полісся в 2015/16 р. ($I_j = 2,21$ т/га) сорти Естафета миронівська, Грація миронівська, МПП Дніпрянка сформували врожайність, яка істотно перевищувала середнє по даному варіанту досліджу – 9,69, 9,66, 9,33 т/га. Для зони Лісостепу в сприятливих умовах сорт Горлиця миронівська максимально реалізує свій потенціал урожайності, для зони Полісся – це сорти МПП Дніпрянка, МПП Валенсія, Господиня миронівська, Естафета миронівська, Грація миронівська. У несприятливих умовах у зоні Лісостепу (2015/16 р.; $I_j = -2,97$ т/га) до адаптивних можна віднести сорти Трудівниця миронівська (з максимальною врожайністю 4,19 т/га) і Господиня миронівська (4,11 т/га), а в зоні Полісся (2017/18 р.; $I_j = -1,08$ т/га) – Естафета миронівська (6,95 т/га).

Коефіцієнт регресії характеризує середню реакцію генотипу на зміну умов середовища та його пластичність і дає можливість прогнозувати зміну ознаки в межах досліджуваних умов. За цим показником сорти були розподілені на групи: сильно реагують на умови вирощування та мають кращу адаптивність до більш сприятливих умов ($b_i > 1$) – МПП Дніпрянка ($b_i = 1,06$), Господиня миронівська ($b_i = 1,07$), Вежа миронівська ($b_i = 1,09$), Грація миронівська ($b_i = 1,13$); з слабкою реакцією ($b_i < 1$) та з кращою адаптованістю до гірших умов – Трудівниця миронівська і Горлиця миронівська (по $b_i = 0,89$), МПП Валенсія ($b_i = 0,93$), МПП Княжна ($b_i = 0,95$), Естафета миронівська ($b_i = 0,99$) і групу сортів з оптимальною реакцією на умови вирощування ($b_i = 1$) – Подолянка ($b_i = 1,00$). Сорти Горлиця миронівська, Трудівниця миронівська, МПП Валенсія і МПП Княжна належать до специфічно адаптованих генотипів, здатних реалізовувати високий продуктивний потенціал за сприятливих умов вирощування, але різко знижують урожайність при погіршенні агрофону. Сорт Естафета миронівська визначено низькопластичний, але з високою середньою врожайністю, має специфічну адаптованість до несприятливих умов: у зоні Лісостепу істотно знижує, а в зоні Полісся – формує максимальний рівень урожайності.

Варіанса стабільності ознаки S^2d_i (середньоквадратичне відхилення) вказує наскільки надійно сорт відповідає тій пластичності, яку оцінили за коефіцієнтом регресії. Чим ближче S^2d_i до нуля, тим менше відрізняються емпіричні значення ознаки від теоретичних, розташованих на лінії регресії [45]. Чим менше квадратичне відхилення, тим більш стабільну врожайність формує сорт в різних умовах середовища. Більш стабільними з меншим числовим значенням S^2d_i були сорти МПП Княжна ($S^2d_i=0,07$), Трудівниця миронівська ($S^2d_i = 0,09$), МПП Дніпрянка ($S^2d_i=0,12$), Вежа миронівська ($S^2d_i=0,17$), Грація миронівська

($S^2d_i = 0,20$). До найбільш нестабільних відносились сорти Горлиця миронівська ($S^2d_i = 1,33$), Естафета миронівська ($S^2d_i = 0,83$), МПП Валенсія ($S^2d_i = 0,68$). Найбільше варіювання ознаки відмічали в зоні Лісостепу, що було пов'язано з несприятливими умовами двох років: 2016/17 р. ($I_j = -2,97$ т/га) і 2017/18 р. ($I_j = -0,68$ т/га).

Таким чином, за результатами аналізу параметрів екологічної пластичності визначені сорти інтенсивного типу, що відгукуються на поліпшення умов ($b_i > 1$) і характеризуються стабільною врожайністю (S^2d_i наближається до нуля). Сорти з $b_i > 1$ та високим показником S^2d_i менш цінні, тому що вони поєднують високу чутливість до умов вирощування з низькою стабільністю врожайності.

До напівінтенсивних ($b_i < 1$ і $S^2d_i \rightarrow 0$) відносились сорти (МПП Валенсія, Господиня миронівська, Горлиця миронівська), які слабо реагували на поліпшення умов, але мали високу стабільність врожайності.

ВИСНОВКИ

1. Метеорологічні умови років досліджень значно відрізнялись за динамікою екологічних факторів (сума температур повітря, кількість опадів, величина ГТК) як в цілому за вегетаційний період пшениці озимої, так і за окремими фазами розвитку рослин пшениці озимої. Урахування особливостей погодних умов зон Лісостепу та Полісся України дало можливість отримати достовірні дані щодо їх відповідності вимогам вирощування пшениці озимої, рівня їх комфортності для реалізації потенційних можливостей культури, ідентифікувати сорти з високою екологічною пластичністю, які здатні в меншій мірі реагувати на коливання умов зовнішнього середовища.

3. Урожайність є комплексним показником адаптації генотипу до умов вирощування. За результатами досліджень спостерігали значне варіювання врожайності в залежності від умов року та агроекологічної зони. За даними дисперсійного аналізу встановлено, що найбільший вплив на врожайність пшениці озимої мала взаємодія факторів «рік \times зона» – 36,4 %. Достовірним, але меншим був вплив факторів «зона» та «рік» – 28,8 % і 22,9 %.

4. За продуктивним потенціалом виділили сорти: в зоні Лісостепу (2015/16 р., $I_j = 0,57$ т/га) – Горлиця миронівська з максимальною врожайністю 8,35 т/га, в зоні Полісся (2016/17 р.; $I_j = 2,21$ т/га) – МПП Валенсія, Господиня миронівська і МПП Дніпрянка (9,65; 9,62 і 9,42 т/га відповідно). Слід зауважити, що в зоні Полісся в 2015/16 р. ($I_j = 2,21$ т/га) сорти Естафета миронівська, Грація миронівська, МПП Дніпрянка сформували врожайність, яка істотно перевищувала середнє по даному варіанту досліджу: 9,69; 9,66; 9,33 т/га.

5. Для зони Лісостепу в сприятливих умовах сорт Горлиця миронівська максимально реалізував свій потенціал урожайності, для зони Полісся – до таких відносились сорти:

МПП Дніпрянка, МПП Валенсія, Господиня миронівська, Естафета миронівська, Грація миронівська. У несприятливих умовах у зоні Лісостепу (2015/16 р.; $I_j = -2,97$ т/га) до адаптивних можна віднести сорти: Трудівниця миронівська (з максимальною врожайністю 4,19 т/га) і Господиня миронівська (4,11 т/га), а в зоні Полісся (2017/18 р.; $I_j = -1,08$ т/га) – Естафета миронівська (6,95 т/га).

6. За коефіцієнтом регресії сорти були розподілені на групи: сильніше реагували на умови вирощування та з кращою адаптованістю до більш сприятливих умов ($b_i > 1$) – МПП Дніпрянка ($b_i = 1,06$), Господиня миронівська ($b_i = 1,07$), Вежа миронівська ($b_i = 1,09$), Грація миронівська ($b_i = 1,13$); слабкою реакцією ($b_i < 1$) та з кращою адаптованістю до гірших умов – Трудівниця миронівська та Горлиця миронівська ($b_i = 0,89$), МПП Валенсія ($b_i = 0,93$), МПП Княжна ($b_i = 0,95$), Естафета миронівська ($b_i = 0,99$) і з оптимальною реакцією на умови вирощування ($b_i = 1$) – Подолянка ($b_i = 1,00$). Сорти Горлиця миронівська, Трудівниця миронівська, МПП Валенсія та МПП Княжна належали до специфічно адаптованих генотипів, здатних реалізовувати високий продуктивний потенціал за сприятливих умов вирощування, але різко знижують урожайність при погіршенні агрофону. Сорт Естафета миронівська порівняно низькопластичний, але з високою середньою врожайністю, мав специфічну адаптованість до несприятливих умов: у зоні Лісостепу істотно знижував, а в зоні Полісся – формував максимальний рівень урожайності.

7. Більш стабільними з меншим числовим значенням S^2d_i були сорти МПП Княжна ($S^2d_i=0,07$), Трудівниця миронівська ($S^2d_i=0,09$), МПП Дніпрянка ($S^2d_i=0,12$), Вежа миронівська ($S^2d_i=0,17$), Грація миронівська ($S^2d_i=0,20$). До найбільш нестабільних відносились сорти Горлиця миронівська ($S^2d_i=1,33$), Естафета миронівська ($S^2d_i=0,83$), МПП Валенсія ($S^2d_i=0,68$). Найбільше варіювання ознаки відмічали в зоні Лісостепу, що було пов'язано з несприятливими умовами двох років: 2016/17 р. ($I_j = -2,97$ т/га) і 2017/18 р. ($I_j = -0,68$ т/га).

8. Результати досліджень підтверджують ефективність комплексної оцінки сортів пшениці м'якої озимої в двох агроекологічних зонах України за показниками екологічної пластичності для диференціації генотипів за спектром реакції на зміни навколишнього середовища та рівнем прояву цінних ознак.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сільське господарство України 2016. *Статистичний збірник*. Київ : Державна служба статистики України, 2017. 246 с.
2. Тимофєєв М. М., Бондарева О. Б., Вінюков О. О. Біологізація рослинництва – основа формування сталих агробіоценозів. *Зернові культури*, 2017. Т. 1. № 1. С. 79–85. URL: <http://www.institut-zerna.com/library/magazine1/18.pdf>
3. Селекція польових культур: збірник наукових праць. Харків: ІР ім. В. Я. Юр'єва УААН, 2008. 384 с.
4. Литвиненко А. М. Удосконалення програми селекції сортів озимої м'якої пшениці універсального типу для умов півдня України у зв'язку зі змінами клімату. *Зб. наук. праць СГІ-НЦНС*. 2010. Вип. 16 (56). С. 14–21.
5. Адаменко Т. І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату. К., 2014. 20 с.
6. Сюков В. В., Захаров В. Г., Менибаєв А. И. Экологическая селекция растений: типы и практика. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017. Т. 21. № 5. С. 534–536.
7. Вінниченко О. М., Більчук В. С., Філонік І. О. та ін. Фізіолого-біохімічні аспекти адаптації сільськогосподарських рослин до комплексної дії абіотичних факторів середовища : монографія / Дніпропетр. нац. ун-т ім. О. Гончара, НДІ біології. Д. : Нова ідеологія, 2011. 224 с.
8. Рідей Н. М., Строкаль В. П., Рибалко Ю. В. Екологічна оцінка агробіоценозів: теорія, методика, практика. Херсон : Видавництво Олді-плюс, 2011. 568 с.
9. Тимофєєв М. М., Бондарева О. Б., Вінюков О. О. Біологізація рослинництва – основа формування сталих агробіоценозів. *Зернові культури*, 2017. Т. 1. № 1. С. 79–85. URL: <http://www.institut-zerna.com/library/magazine1/18.pdf>
10. Яковлева Н. Зерно врятує Україну від дефолту [Електрон. ресурс]. Режим доступу : <http://novynar.com.ua/analytics/economics/>.
11. Hill J. Genotype-environment interaction – a challenge for plant breeding. *J. Agric. Sci.* 1975. V. 85, No. 3. P. 477–493
12. Eriksson G., Ekberg I., Clapham D. An Introduction to Forest Genetics. Second Edition. SLU, Uppsala, 2006. 188 p.
13. White T.L., Adams W.T., Neale D.B. Forest Genetics. CABI Pub., 2009. 682 p.
14. Zas R., Merlo E. Fernandez-Lopez J. Genotype x Environment Interaction in Maritime Pine Families in Galicia, Northwest Spain. *Silvae Genetica*. 2004. Vol. 53, № 4. P. 175–182..
15. Кильчевский А. В., Хотылёва Л. В. Генотип и среда в селекции растений. Минск : Наука и техника, 1989. 191 с.
16. Burdon R. D. Genetic Correlation as a Concept for Studying Genotype-Environment Interaction in Forest Tree Breeding. *Silvae Genetica*. 1977. Vol. 26, № 5, 6. P. 168–175.
17. Pswarayi I. Z., Barnes R. D., Birks J. S., Kanowski P. J. Genotype-Environment Interaction in a Population of *Pinus elliotii* Engelm. Var. *Elliottii*. *Silvae Genetica*. 1997. № 46. Vol. 1. P. 35–40.
18. Eberhart S. A., Russel W. A. Stability parameter for comparing varieties. *Crop science*. 1966. Vol. 6, № 1. P. 36–40.
19. Шутяев А. М., Поздоровкина О. Б. Метод оценки экологической пластичности и стабильности роста географических популяций древесных растений. *Современные методы лесной генетики и селекции*. Воронеж : Изд-во ЦНИИЛГиС, 1984. С. 48–54.
20. Berhart S.A., Russel W.A. Stability parameter for comparing varieties. *Crop science*.
21. Scheiner S.M. Genetics and evolution of phenotypic plasticity. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 1993. Vol. 24. P. 35–68.
22. Hattermer H., Bergmann F., Ziehe M. Einführung in die Genetik. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 1993. 492 s.
23. Pswarayi I. Z., Barnes R. D., Birks J. S., Kanowski P. J. Genotype-Environment Interaction in a Population of *Pinus elliotii* Engelm. Var. *Elliotti*. Pswarayi. *Silvae Genetica*. 1997. № 46. Vol. 1. P. 35–40.

24. Вінниченко О. М., Більчук В. С., Філонік І. О. та ін. Фізіолого-біохімічні аспекти адаптації сільськогосподарських рослин до комплексної дії абіотичних факторів середовища: монографія. Дніпропетр. нац. ун-т ім. О. Гончара, НДІ біології. Д.: Нова ідеологія, 2011. 224 с.
25. Демидов О. А., Васильківський С. П., Гудзенко В. М. Екологогенетичні аспекти селекції ячменю озимого щодо підвищення його продуктивного та адаптивного потенціалу у Лісостепі України. *Агроекологічний журнал*. 2017. № 2. С. 195–200.
26. Gauch N. G., Rodrigues P. C., Munkvold J. D. et al. Two new strategies for detecting and understanding QTL by environment interactions. *Crop Sci*. 2011. V. 51, No. 1. P. 96–113.
27. Malosetti M., Ribaut J., Van Eeuwijk F. The statistical analysis of multi-environment data: modeling genotype-by-environment interaction and its genetic basis. *Front. Physiol*. 2013. V. 4: 44. doi.org/10.3389/fphys.2013.00044/
28. Dockter C., Gruszka D., Braumann I. et al. Induced variations in brassinosteroid genes define barley height and sturdiness, and expand the green revolution genetic toolkit. *Plant Physiol*. 2014. V. 166, No. 4. P. 1912–1927.
29. Хангильдин В. В., Литвиненко Н. А. Гомеостатичність и адаптивність сортів озимой пшениці. *Науч.-техн. бюл. ВСГИ*. 1981. Вып. 1 (39). С. 8–14.
30. Yan W., Hunt L. A. Interpretation of genotype \times environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Sci*. 2001. V. 41, No. 1. P. 19–25.
31. Van Eeuwijk F/, Bustos-Korts D., Malosetti M. What should students in plant breeding know about the statistical aspects of genotype \times environment interactions? *Crop Sci*. 2016. V. 56. No. 5. P. 2119–2140.
32. Scheiner S.M. Genetics and evolution of phenotypic plasticity. Scheiner. *Annu. Rev. 4col. Syst*. 1993. Vol. 24. P. 35–68.
33. Acquaah G. Principles of Plant Genetics and Breeding. Second edition. Wiley-Blackwell, 2012. 740 p.
34. Кочмарський В. С., Замліла Н. П., Вологідіна Г. Б. та ін. Рівень адаптивності перспективних ліній пшениці м'якої озимой в умовах Лісостепу України. *Миронівський вісник*. 2016. Вип. 2. С. 98–115.
35. Гудзенко В. М. Еколого-генетичні основи адаптивної селекції ячменю в умовах центральної частини Лісостепу України : автореф. дис. ... докт. с.-г. наук : 06.01.05 – селекція і насінництво. Дніпро, 2019. 51 с.
36. Замліла Н. П. Особливості визначення адаптивності селекційних ліній пшениці м'якої озимой в умовах центральної частини Лісостепу України. автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.05 – селекція і насінництво. Центральне, 2021. 24 с.
37. Коніщук В. В., Єгорова Т. М. Агроекологічне районування України. *Агроекологічний журнал*. 2018. № 4. С. 6–22. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2018.155744>.
38. Український гідрометеорологічний центр. Режим доступу: <https://meteo.gov.ua/ua/33466/climate/climate/>
39. Власенко В. А., Кочмарський В. С., Колючий В. Т. та ін. Селекційна еволюція миронівських пшениць. Миронівка, 2012. С. 13–23.
40. Селянинов Г. Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата. Мировой агроклиматический справочник. Л.-М., 1937. С. 4–29.
41. Якубцинер М. М. Пшеница. Зерновые культуры. М., 1954. С. 7–180.
42. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ: Методические рекомендации. Новосибирск, 1984. С.11–20.
43. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.
44. Литун П. П. Взаимодействие генотип-среда в генетических исследованиях и способы его изучения. *Проблемы отбора и оценки селекционного материала*. Киев : Наукова думка, 1980. С. 63–93.
45. Пакудин В. З. Оценка экологической пластичности сортов. Генетич. анализ колич. и кач. призн. с пом. мат.-стат. методов. М.: ВНИИТЭИСХ, 1973. С. 40–45.