

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА

Факультет гідрометеорології і екології

Кафедра агрометеорології та агроекології

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

ОЦІНКА ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ ЖИТА ОЗИМОГО НА ТЕРИТОРІЇ ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ ASSESSMENT OF THE IMPACT OF CLIMATIC CHANGES ON THE FORMATION OF WINTER RYE YIELDS IN THE WESTERN FOREST-STEPPE

Виконав: здобувач денної форми навчання
спеціальності 103 «Науки про Землю»

Освітньо-професійна програма Агрометеорологія

Костюкевич Дмитро Андрійович

(прізвище, ім'я, по-батькові здобувача)

Керівник к. геогр. н., доц. Барсукова О.А.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент к. геогр. н., доц. Ільїна В.Г.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Рекомендовано до захисту:
Протокол засідання кафедри
агрометеорології та агроекології
№ ____ від ____ . ____ . 2025 р.

Завідувачка кафедри

Оксана ВОЛЬВАЧ

(підпис)

(прізвище, ім'я)

Захищено на засіданні ЕК №
протокол № ____ від ____ . ____ . 2025 р.

Оцінка ____ / ____ / ____
(за національною шкалою/шкалою ECTS/ бали)

Голова ЕК

(підпис)

Віктор СИТОВ

(прізвище, ім'я)

Одеса 2025

АНОТАЦІЯ

Костюкевич Д.А. Оцінка впливу кліматичних змін на формування врожайності жита озимого на території Західного Лісостепу

Озиме жито є однією з ключових зернових культур Полісся та Західного Лісостепу, з широким спектром використання. Воно особливо важливе як продовольча культура, оскільки зерно та борошно озимого жита перевершують озиму пшеницю за харчовими і фізіологічними властивостями.

Актуальність обраної теми зумовлена тим, що для отримання сталих і високих урожаїв будь-якої сільськогосподарської культури, зокрема, жита озимого, необхідне детальне вивчення агрокліматичних умов його вирощування на досліджуваній території з метою раціонального використання цих умов і найбільш оптимального розміщення посівів. Особливого значення набуває вирішення цього питання у зв'язку зі змінами клімату.

Метою даного дослідження є Оцінка впливу кліматичних змін на формування врожайності жита озимого на території Західного Лісостепу.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні *завдання*:

- розрахувати та оцінити основні агрокліматичні показники вегетаційного періоду жита озимого за багаторічними даними з урахуванням змін клімату за 2021-2050 рр.;
- визначити вплив очікуваних змін клімату на фотосинтетичну продуктивність та врожайність жита озимого за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

Об'єкт дослідження - агрокліматичні умови формування врожайності жита озимого в умовах зміни клімату.

Предмет дослідження - оцінка впливу кліматичних змін на формування врожайності жита озимого на території дослідження.

Методи дослідження - методи математичного моделювання продукційного процесу рослин, статистичні та ймовірнісні методи.

Вперше встановлені закономірності впливу змін клімату на умови формування врожаю жита озимого в умовах Західного Лісостепу на прикладі Львівської області.

Отримані результати можуть бути використані при виконанні комплексної оцінки агрокліматичних ресурсів стосовно формування врожаю жита озимого та оптимізації розміщення його посівних площ за умов реалізації сценарію RCP4.5 та RCP8.5 в умовах Західного Лісостепу.

Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків та переліку посилань. Повний обсяг роботи становить 64 сторінки, 10 рисунків, 4 таблиці. Список використаних літературних джерел містить 37 найменувань.

Ключові слова: жито озиме, врожайність, зміна клімату, сценарій.

SUMMARY

Kostyukevich D.A. Assessment of the impact of climatic changes on the formation of winter rye yields in the Western forest-steppe

In winter, one of the key grain crops is grown in Polissya and Western forest-steppe, with a wide range of plant species. It is especially important as a food crop, grain fragments and good winter crops are used to turn over winter wheat for grub and physiological authorities.

The relevance of the chosen topic is due to the fact that in order to obtain stable and high yields of any agricultural crop, in particular, winter wheat, a detailed study of the agrometeorological conditions of its cultivation in the studied territory is necessary for the purpose of rational use of these conditions and the most optimal placement of crops. The solution of this issue becomes especially important in connection with climate changes.

The purpose of this study is to assess the impact of climate change on the formation of winter crop productivity in the territory of Western Forest-Steppe.

To achieve the goal set, it was necessary to follow the upcoming tasks:

- to identify and evaluate the main agroclimatic indicators of the growing season of winter life based on the rich data on climate change for 2021-2050;
- calculate the influx of ongoing climate change on photosynthetic productivity and the productivity of winter crops in the implementation of the climate change scenario RCP4.5 and RCP8.5.

The object of research is the agrometeorological conditions of the formation of winter crops yield in the conditions of climate change.

The subject of the study is the assessment of the impact of agrometeorological conditions on the yield of winter crops in the study area.

Research methods - methods of mathematical modeling of the production process of plants, statistical and probabilistic methods.

For the first time, regularities of the influence of climate changes on the agrometeorological conditions of growing winter crops and its productivity in the conditions of Western forest-steppe in the Lviv region was established.

The results can be obtained in the context of a comprehensive assessment of agroclimatic resources in order to fully formulate the harvest of winter crops and optimize the placement of crop areas in the implementation of the RCP4.5 scenario and RCP8.5 in the minds of Western forest-steppe.

The work consists of an inlet, 4 sections, main parts and transfer. The new duty is to create 64 pages, 10 figures, 3 tables. List of popular literary devices with 37 names.

Keywords: winter season, crop growth, climate change, scenario.

ЗМІСТ

ВСТУП		6
1	СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА ЖИТА ОЗИМОГО	8
1.1	Народногосподарське значення, динаміка та перспективи виробництва жита озимого в Україні	8
1.2	Переваги сучасних сортів та гібридів за сучасних умов вирощування	15
2	ОСОБЛИВОСТІ ФІЗІОЛОГІЇ ЖИТА ОЗИМОГО	17
2.1	Морфологічні особливості росту та розвитку	17
2.2	Вплив температурного та світлового режимів на процеси розвитку жита озимого	19
2.3	Формування та функціонування фотосинтетичного апарату у рослин жита озимого	22
2.4	Роль дихання в продукційному процесі, водний обмін та мінеральне харчування	23
2.5	Найпоширеніші шкідники та хвороби жита озимого	29
3	ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ ПОСІВІВ ЖИТА ОЗИМОГО НА ТЕРИТОРІЇ ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ	33
3.1	Адаптація сільського господарства до кліматичних змін	33
3.2	Загальна характеристика фізико-географічних та агрокліматичних умов району дослідження	36
3.3	Оцінка агрокліматичних умов вирощування жита озимого в умовах зміни клімату на території дослідження	38
3.4	Оцінка фотосинтетичної продуктивності посівів жита озимого в умовах зміни клімату	44
4	ОЦІНКА МІНЛИВОСТІ ВРОЖАЙНОСТІ ЖИТА ОЗИМОГО В УМОВАХ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ	53

4.1	Методи оцінки мінливості врожайності сільськогосподарських культур	53
4.2	Просторово-часова оцінка мінливості врожайності жита озимого в умовах Львівської області	55
ВИСНОВКИ.....		58
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ		60

ВСТУП

Озиме жито є однією з ключових зернових культур Полісся та Західного Лісостепу, з широким спектром використання. Воно особливо важливе як продовольча культура, оскільки зерно та борошно озимого жита перевершують озиму пшеницю за харчовими і фізіологічними властивостями.

Крім того, озиме жито має велике кормове значення. Його зелена маса добре засвоюється тваринами, забезпечуючи високий рівень поживності. Наприклад, у кожному кілограмі соломи міститься 0,22 кормові одиниці [1]. Ця культура також вирізняється цінними біологічними характеристиками: вона холодостійка, здатна рости на різних типах ґрунтів і ефективно пригнічує бур'яни завдяки своїй вегетативній масі.

Практичний досвід та наукові дослідження підтверджують високу продуктивність озимого жита. Упродовж останніх десятиліть його врожайність суттєво зросла, що свідчить про значний потенціал цієї культури. Оскільки сільське господарство безпосередньо залежить від стану довкілля, вплив зміни клімату на сільське господарство стає все більш очевидним [2].

Жито озиме в сучасних умовах кліматичних змін поводить як перспективна культура. Вона перевершує пшеницю за холодостійкістю, успішно розвивається на різноманітних типах ґрунтів і здатна навіть сприяти зниженню викидів CO₂. Однак такі фактори, як підвищена сухість та теплі зими, стають для неї серйозним викликом, через що врожайність може знижуватись. У той самий час її здатність протистояти засухам дозволяє зберігати конкурентоспроможність у регіонах, де інші зернові відчують труднощі, особливо у помірних і північних широтах.

Мета: оцінка впливу кліматичних змін на формування врожайності жита озимого на території Західного Лісостепу.

Завдання:

- розрахувати та оцінити основні агрокліматичні показники весняно-літнього вегетаційного періоду жита озимого за багаторічними даними з урахуванням змін клімату за 2021-2050 рр.;
- визначити вплив очікуваних змін клімату на формування врожайності жита озимого за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

Для дослідження впливу кліматичних змін на темпи розвитку та формування врожайності жита озимого в Західному Лісостепу України нами були розглянуті наступні варіанти - базовий (1991-2020 рр.) та кліматичні умови за сценарієм RCP4.5 та RCP8.5 (2021-2050 рр.).

Джерелом інформації слугували дані спостережень, зібрані на мережі гідрометеорологічних станцій Управління гідрометеорології Державної служби з надзвичайних ситуацій України [3], а також інформація з державних сортодослідних ділянок. Розрахунки проводилися за допомогою моделі з використанням персональної електронно-обчислювальної машини (ПЕОМ).

1 СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА ЖИТА ОЗИМОГО

1.1 Народногосподарське значення, динаміка та перспективи виробництва жита озимого в Україні

Жито з'явилося на сторінках історії людства у своєму значенні польової хлібної культури відносно нещодавно. Першими хлібними злаками, згідно до археологічних досліджень, які почала вирощувати людина на території Євразії, були ячмінь, пшениця та, можливо, рис. Культури пшениці та ячменю є дуже давніми: найбільш ранні знахідки зерен пшениці (одного з видів полби) у містечку Джармо у Північному Дворіччі датуються 7 тис. до н. е.; «перші знахідки дворядного дикого ячменю виявлено у Південній Йорданії та Хузестані і також належать до 7 тис. до н. е. У Європі м'яка пшениця була відома за 3000 років до зв. е. і навіть раніше» [4].

Родоначальником сучасного культурного жита є бур'яно-польове жито (*Secale segetale*) Південно-Західної Азії (найбільш ймовірно, північно-західної частини Ірану, північно-східної частини Туреччини та південного Закавказзя), яка з незапам'ятних часів засмічувала місцеві посіви пшениці та ячменю.

Культурне жито формувалось з бур'янів-польових внаслідок конкуренції останнього з пшеницею при спільному проростанні їх у крайніх умовах гірського режиму. Можливо, бур'яно-польове жито, будучи бур'яном, супроводжувало посіви пшениці і, меншою мірою, ячменю з самого моменту введення цих рослин у культуру. Принаймні, перші знахідки жита зустрічаються тільки як домішка в зернах пшениці та ячменю. Але історичні та археологічні дані говорять про те, що жито з'явилося все ж таки значно пізніше за пшеницю - тільки в бронзовому столітті, який для більшості країн Європи, Передньої та Малої Азії охоплює 2 тис. до н. е. Знахідки зерен жита відзначені і на пам'ятках скіфського часу (IX–III ст. до н. е.) [4].

Що стосується початку вирощування жита, часу введення її в культуру, то в лісовій смузі Східної Європи, за археологічними даними, воно відноситься до раннього залізного віку (900 р. до н. е. – початок н. е.). Причому найпоширенішими культурами були м'яка пшениця, ячмінь та просо. Жито та овес вирощували у дуже незначних кількостях. Вищенаведений склад культур говорить про те, що до рубежу нашої ери тут велося лише яре землеробство

Озиме жито (*Secale cereale* L.) вже протягом тривалого часу залишається важливим елементом харчування населенням багатьох країн світу. Хліб із житнього борошна, особливо грубого помелу, відзначається більшою калорійністю порівняно з пшеничним, хоча і поступається йому в засвоюваності. Водночас цей хліб містить вітаміни А, В, РР та С, що робить його цінним компонентом людського раціону. Висока кислотність житнього хліба пояснюється активністю молочнокислих бактерій, завдяки яким хліб має приємний смак і аромат. Його виготовляють як на основі чистого житнього борошна, так і з додаванням пшеничного у різних пропорціях.

Очищені зародки зерна завдяки високому вмісту білків, жирів, цукрів, вітамінів і мінералів знайшли застосування у фармацевтиці та харчовій промисловості для створення лікувальних препаратів і поживних концентратів. Зерно також слугує кормом для тварин, зелена маса використовується на випас, а солод із жита застосовують для виробництва спирту. Однак лише незначна частина світового виробництва житнього зерна використовується в харчуванні людей.

Жито часто використовується як корм для тварин у сумішах з іншими зерновими культурами. Житнє борошно та висівки додають до грубих кормів, таких як сіно, солома чи полова, покращуючи їх поживну цінність.

«Солома жита має нижчу якість порівняно з соломою інших злаків, тому в основному застосовується як підстилка для худоби. Проте вона успішно використовується для створення плетених виробів і предметів

побуту, таких як мати, обгортковий папір або капелюхи. Крім того, із соломи можна отримати кристалічний цукор, целюлозу, оцет та лігнін» [6].

Жито озиме віддає перевагу прохолодному клімату і маловимогливе до ґрунтів, тому його основними регіонами вирощування залишаються Північна та Східна Європа. Розглянемо країни-лідери з виробництва жита за останні роки.

Німеччина впевнено посідає перше місце, щорічно збираючи 3,5 -4 мільйони тонн цього злаку, що становить 30% світового показника. Північні регіони країни, такі як Шлезвіг-Гольштейн та Нижня Саксонія, з їхніми кислими ґрунтами та відповідними кліматичними умовами, ідеально підходять для вирощування жита. Тут жито давно стало не просто сільськогосподарською культурою, а частиною національної культури: з неї випікається традиційний хліб Rumpsternicke. Застосування: хліб, мука, кормові потреби. Німеччина по праву є житнім центром Європи, де врожай вирощується з особливою турботою та любов'ю [6].

Польща займає другий рядок світового рейтингу з обсягом збору 2,5-3 мільйони тонн. Основні регіони вирощування – Мазовія, Підляшшя та Вармія-Мазури – славляться своїми житніми полями (піщані ґрунти, прохолодне літо). Польське жито використовується не лише для випікання хліба, а й для виготовлення горілки, а також для створення традиційних солом'яних дахів. Польща – житня держава, яка дбайливо зберігає східноєвропейські традиції.

Україна виробляє 0,5-0,7 мільйона тонн жита, поступаючись пшениці та соняшнику, проте залишається важливим учасником галузі, займаючи п'яте місце. Північні області країни – Житомирська, Чернігівська та Рівненська – з досить вологим кліматом Полісся ідеально підходять для вирощування цієї культури. З українського жита випікають запашний чорний хліб, який став важливою частиною місцевої кулінарії. Україна – край житнього хліба, де закладено глибинні традиції вирощування цієї культури.

За межами країн-лідерів жито вирощується і в інших куточках світу. Хоча ці країни не є лідерами за обсягом виробництва, вони також мають свої унікальні житні традиції. Так, Данія збирає 0,3-0,4 млн. тонн жита в умовах північного клімату; тут популярністю користується запашний хліб Rugbrod [6].

Швеція виробляє 0,2-0,3 млн. тонн на скандинавських полях, зберігаючи культурну спадщину.

У Канаді врожай жита досягає 0,2 млн. тонн – основні регіони вирощування розташовані в преріях Альберти та Саскачевана.

США з їхніми північними штатами, такими як Північна Дакота та Міннесота, збирають від 0,1 до 0,2 млн. тонн.

Ці країни – невеликі житні островці серед різноманітності зернових культур у світі.

Згідно з даними Державної служби статистики України [3], останніми роками спостерігається стійка тенденція до поступового скорочення площ, відведених для вирощування озимого жита по всій країні (рис.1.1). В останні роки площа під посівами в Україні становить близько 70 тис га, що, маже в 6 разів менш ніж в період 2000-2005 років. «Стрімке зменшення за останні два роки – до 65-100 тис. га пов'язане з вторгненням російських військ до нашої країни» [6].

Основними регіонами вирощування жита озимого в Україні залишаються північні та західні області, серед яких виділяються Волинська Рівненська, Житомирська, Чернігівська та Київська. Ці території традиційно мають найбільші площі посівів завдяки сприятливим кліматичним умовам та здатності культури жита озимого витримувати холодні та кислі ґрунти. До початку повномасштабного вторгнення домінуючим регіоном була Чернігівщина, але тепер провідні позиції поступово перебирають на себе західні області.

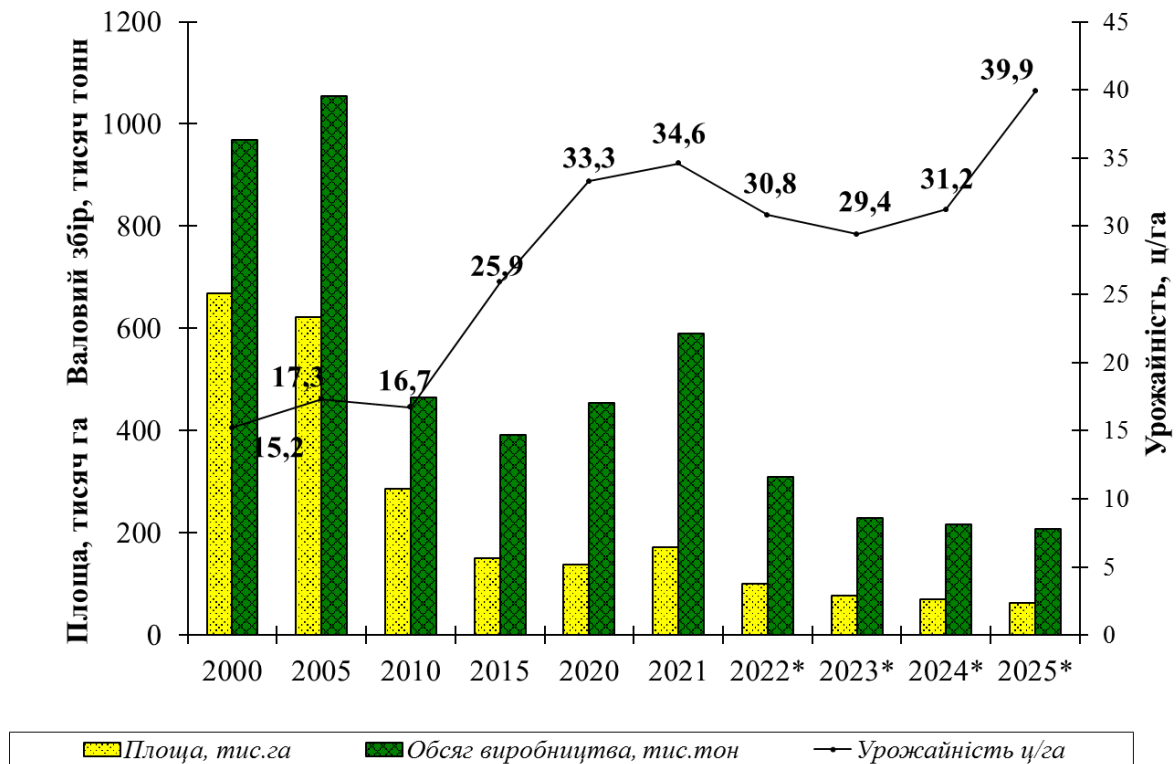


Рисунок 1.1 - Динаміка виробництва жита озимого в Україні (*дані наведено без урахування тимчасово окупованих територій та частини територій, на яких ведуться (велися) бойові дії)

Джерело: побудовано автором на основі даних [3]

Так, в цьому році під посівами жита озимого в Волинській області було зайнято 11,5 тис га, в Рівненській – 12,7 тис га, а в Чернігівській - 8,3 тис га, в Київській та Житомирській 6,4 та 5,5 тис га відповідно. Відповідно, що й валові збори зерна жита озимого в цих областях також, найбільші (рис. 1.2).

Але врожайність у цих областях не є найбільшою (рис. 1.3). Наочно бачимо, що в цьому році найбільші врожаї жита озимого отримано в Західному Лісостепу, так в Тернопільській та Хмельницькій областях цей показник становив 59,0 та 58,2 ц/га відповідно. Але в останні роки високі врожаї врожайність жита озимого в стали отримувати й в Південних областях, так в Миколаївській області в цьому році зібрали 55,4 ц/га – це третє місце по Україні. Також високі врожаї жита озимого отримано в Черкаській області – 41,3 ц/га.

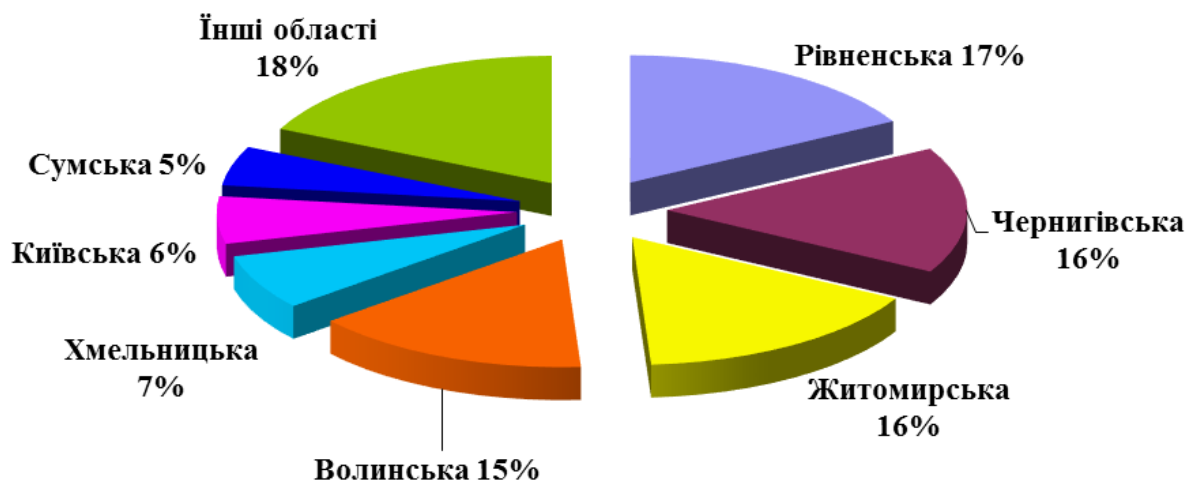


Рисунок 1.2 – Валовий збір зерна жита озимого в Україні в розрізі областей станом на 2025 рік (%) (*дані наведено без урахування тимчасово окупованих територій та частини територій, на яких ведуться (велися) бойові дії)

Джерело: побудовано автором на основі даних [3]

Аграрії пояснюють це тим, що жито озиме краще переносить посуху та погані ґрунти, а поєднання сучасних агротехнічних методів та досягнень сучасної селекції дають свої результати. Також сьогодні економічно вигідно вирощувати жито озиме - воно вимагає менше добрив, ніж пшениця, а попит на його зерно зростає через популярність до здорового харчування. У 2025 році, з урахуванням економічного тиску (вимагає менше гербіцидів, так як пригнічує ріст бур'янів, а після збирання збагачує ґрунт органічними речовинами), такі особливості стають важливими для диверсифікації посівів. Фермери відзначають, що це не лише сприяє заощадженню ресурсів, але й підвищує загальну стійкість господарств [6].

Озиме жито - це зернова культура з давніми традиціями, яку висаджують восени, щоб вона успішно перенесла зиму та принесла врожай улітку. В умовах все більш нестабільного клімату в Україні вона відіграє важливу роль, допомагаючи зберігати вологу у ґрунті та запобігати ерозії, особливо у посушливих регіонах.

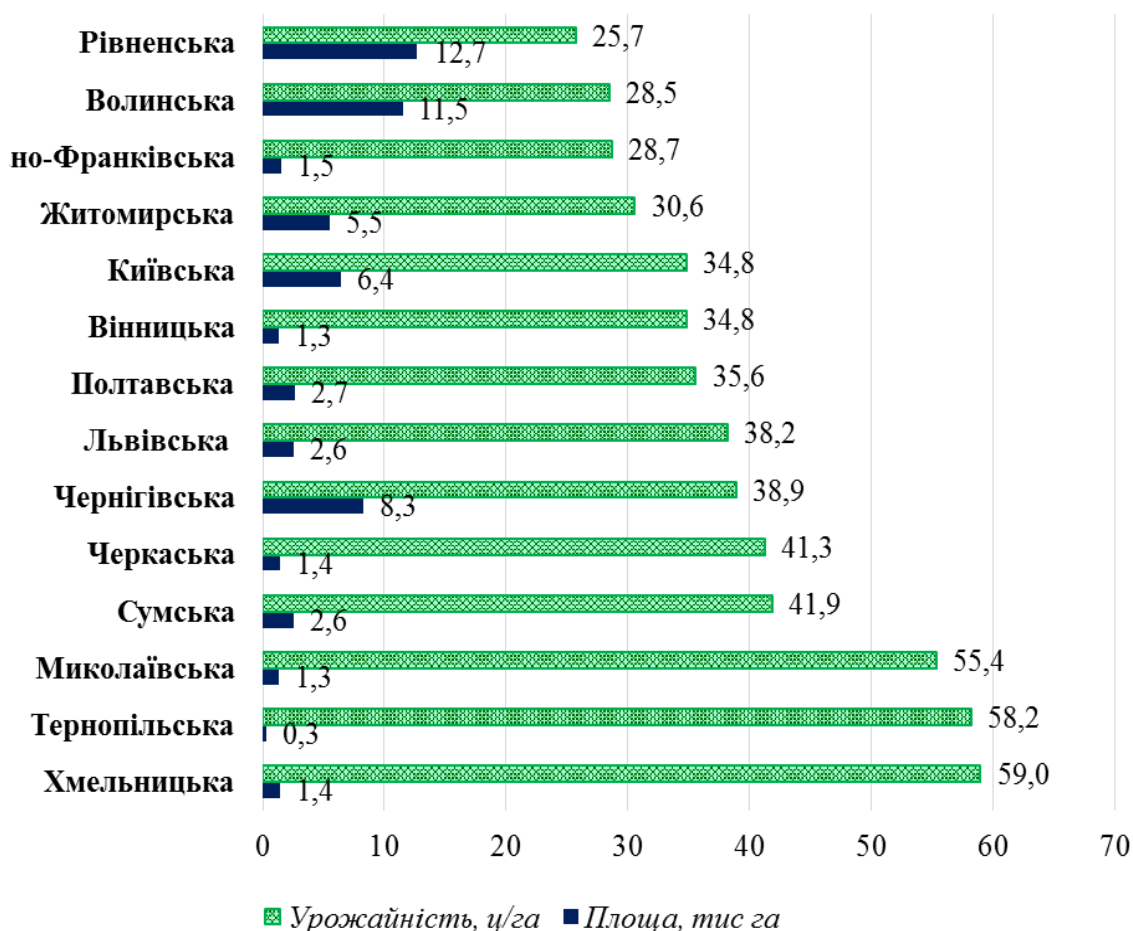


Рисунок 1.3 – Урожайність жита озимого в Україні та площі в розрізі областей, що мають більше 0,3 тис. га під цією культурою станом на 2025 рік (%) (*дані наведено без урахування тимчасово окупованих територій та частини територій, на яких ведуться (велися) бойові дії)

Джерело: побудовано автором на основі даних [3]

З огляду на посилення кліматичних викликів фермери все частіше звертаються до вирощування жита для захисту ґрунту. Її коренева система зміцнює землю, покращуючи структуру ґрунту для подальших посадок. Ця культура добре адаптується до бідних ґрунтів, пригнічуючи бур'яни та стаючи незамінним елементом сучасного сільського господарства України.

1.2 Переваги сучасних сортів та гібридів за сучасних умов вирощування

Створення сортів, які одночасно володіють високим рівнем врожайності та стійкістю до несприятливих факторів навколишнього середовища, залишається актуальним завданням. Озиме жито виділяється серед інших зернових культур завдяки підвищеній стійкості до несприятливих умов, що забезпечує більшу стабільність урожайності [7].

Однак протягом тривалого часу у цієї культури залишався значний недолік - відносно низький рівень врожайності, що зумовило скорочення її посівних площ. Ця проблема зберігається і у сучасних сортах. Потенційна врожайність сучасних сортів та гібридів жита досягає 12–13 т/га. У той же час у озимій пшениці цей показник значно вищий, і створення сортів з урожайністю 15–20 т/га є цілком досяжним. Тому основний акцент у селекції жита озимого найближчими роками спрямований на підвищення як потенційної, так і реальної врожайності. Однак зосередження на питанні збільшення врожайності часто призводить до зниження стійкості сортів до несприятливих умов, що обмежує можливість реалізації їхнього потенціалу [8].

Для підвищення рівня реалізації генетичного потенціалу створюваних сортів важливо забезпечити їх стійкість до комплексу несприятливих факторів, притаманних умов вирощування. Отже, розробка високоврожайних сортів має супроводжуватися збереженням чи поліпшенням їхньої опірності до зовнішніх стресових впливів. Проте поєднання високої врожайності та стійкості до несприятливих умов є досяжним не завжди, оскільки ці властивості часом складно поєднати в одному генотипі. Такий конфлікт нерідко формує дилему для селекціонерів: адаптація чи максимальна продуктивність?

Одним з важливих аспектів селекції жита є її стійкість до вилягання. Дослідники шукають шляхи оптимізації процесів оцінки цієї ознаки з метою

мінімізувати витрати часу та ресурсів. Отримані дані можуть бути використані для відбору форм, що поєднують стійкість до вилягання з високим потенціалом продуктивності, що має велике значення для виведення сортів нового покоління.

Селекційна робота щодо підвищення продуктивності часто передбачає прагнення максимізувати ключові елементи врожайності. Однак зайвий акцент лише на окремих характеристиках, тісно пов'язаних із продуктивністю, може призвести до порушення їх балансу з іншими важливими факторами, знижуючи стійкість рослин до негативних впливів середовища, погіршуючи імунітет та якість продукції.

Оптимізація співвідношення компонентів урожаю є важливим завданням селекції. Досягнення такого балансу можливе при вирівнюванні взаємодії між органами рослини, що виконують функції накопичення та споживання ресурсів. Для визначення рівня оптимальності та стабільності внутрішніх процесів у рослинах потрібні спеціальні дослідження чи вивчення селекційного матеріалу у різних умовах. Однак традиційні методи оцінки часто не дозволяють виявити точні показники оптимальності та збалансованості. Ця обставина ускладнює роботу селекціонерів, особливо при обробці великих обсягів матеріалу, який не завжди характеризується достатньою генетичною різноманітністю.

«Завдяки досягненням селекціонерів Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН в Україні сьогодні є багато високопродуктивних конкурентоспроможних сортів і гібридів жита озимого нового покоління з високим генетичним потенціалом урожайності» [8].

Сьогодні в реєстрі сортів рослин України, придатних до поширення, налічується близько 50 сортів жита озимого, серед них також є й закордонної селекції – Лівадо, Боно, Форзетті, Коссані, Левитан, Жатва, Доларо та інші [8].

2 ОСОБЛИВОСТІ ФІЗІОЛОГІЇ ЖИТА ОЗИМОГО

2.1 Морфологічні особливості росту та розвитку

Серед безлічі рослин, що мають значне значення для людини, злаки займають чільне місце. До цієї групи належать не тільки хлібні культури, які забезпечують основну частину нашого харчування, а й більшість лугових та степових трав, які є основним джерелом корму для сільськогосподарських тварин, особливо трав'яних.

Перехід до осілого способу життя безпосередньо пов'язаний із злаками. Здовго до того, як зернові рослини почали культивуватися, люди вже використовували їхнє насіння, плоди, кореневища та бульби дикорослих рослин у їжу. На підставі історичних даних можна стверджувати, що землеробство зародилося в епоху післяльодовикового періоду - в палеоліті, а можливо навіть раніше, в одному з міжльодовикових періодів. Про це свідчать знахідки неолітичної епохи: кам'яні жорен для помелу зерна, а також інструменти для прядіння та ткацтва [4].

Жито (*Secale*) є одним із представників сімейства злаків і включає близько десяти видів як однорічних, так і багаторічних форм. Культурне жито (*S. cereale* L.) представлене єдиним ботанічним виглядом і одним його різновидом (*S. cereale vulgare* L.), яке має важливе економічне значення. На території України її переважно вирощують у Поліссі та Лісостепу.

Сімейство злаків - одне з найчисленніших і найпоширеніших по всій земній кулі. Вони становлять основу трав'яних угруповань лук, степів і прерій у багатьох природних зонах. Цю групу рослин люди навчилися виділяти ще до появи ботаніки як науки завдяки характерним рисам: членистим стеблам-соломинам і волотистим або колосоподібним суцвіттям з квітками, захищеними лусочками замість кольорового віночка [9].

Злаки бувають однорічними, дворічними або багаторічними рослинами, переважно трав'янистими. У сімействі зустрічаються також рідкісні чагарникові і навіть деревоподібні форми. Їхній життєвий цикл починається проростанням насіння і завершується дозріванням зернівок. Тривалість цього циклу варіюється в залежності від виду: у ярих злаків він займає один вегетаційний період, тоді як у озимих або дворічних рослин розтягується на два роки.

Існують також так звані дворічки - рослини з подвійною здатністю розвиватися як у ярій, так і в озимій формі. Їх розвиток демонструє гнучкість пристосувальних механізмів до різних зовнішніх умов та надає цікавий науковий матеріал для вивчення.

Різноманітність форм розвитку злаків пояснюється їхньою здатністю адаптуватися до широкого спектру кліматичних умов, включаючи різні рівні освітленості та температури. Це дозволило рослинам закріпити спадкові риси зростання та реакції на зовнішнє середовище. Протягом першої чверті ХХ століття дослідження цих особливостей було зосереджено переважно на вивченні природи ярих та озимих форм, включаючи регулювання довжини їхнього вегетаційного періоду під впливом світлових та температурних факторів.

У процесі запліднення злаків чоловічі та жіночі гамети зливаються. У жита цей процес займає приблизно 30-45 хвилин. Після цього починається розвиток зернівки: ендосперм формується через 6 годин після злиття гамет, а перше розподіл зиготи відбувається через 15 годин. Вже на момент першого поділу ядро ендосперму містить вісім ядер [10].

Цвітіння колосу жита триває 5-6 днів: окремі квітки розкриваються за 2-3 хвилини, після чого починається запилення, яке займає від 2 до 10 хвилин. Квіткові лусочки потім закриваються. Весь процес цвітіння може тривати до 30 хвилин із паузами між спалахами в 0,5-2 години, найчастіше в ранковий час. Вже через п'ять днів після запилення сформоване зерно жита

може почати проростати, хоча такі рослини можуть бути ослабленими. Період спокою зерна становить від одного до півтора місяця [10].

Посівні якості зерна жита зберігаються протягом тривалого часу, загалом до 10 років. Проте за умов зберігання з виробництва їх схожість може помітно знизитися до кінця цього періоду. За несприятливих умов зберігання значну втрату схожості можна спостерігати вже в перший рік. Для успішного збереження повноцінного насіннєвого матеріалу особливу роль відіграє поєднання оптимальних показників вологості та температури. Основний принцип полягає в тому, що при збільшенні вологості насіння необхідно знижувати температуру їх зберігання. Цей принцип застосовний і до насіння інших рослин.

У несприятливих умовах зерно жита може втратити життєздатність протягом першого року. Для переходу до активних процесів зростання та розвитку зерно потребує мінімально необхідної кількості тепла та вологи. При температурі близько 0 °C зростання рослини відбувається повільно, а при швидкому заморожуванні процеси повністю припиняються. Розвиток жита можливий навіть без проростання і не залежить від мітотичної активності тканин перед охолодженням [10].

Для повноцінного проростання насіння жита потрібен вміст вологи на рівні 57-65% щодо повітряно-сухої ваги. Обсяг води, необхідний проростання, безпосередньо пов'язані з температурними умовами зберігання.

2.2 Вплив температурного та світлового режимів на процеси розвитку жита озимого

Основними факторами, що впливають на життєвий цикл рослин, залишаються температура та світловий режим. Жито, що відноситься до холодостійких рослин довгого дня, представлене як озимими, так і ярими формами. Особливості їх зростання та розвитку визначаються

температурними та світловими умовами, що залежать від характеристик регіону або цілей наукового експерименту, що проводиться.

Відповідно до теорії стадійного розвитку, проходження першої стадії онтогенезу (яровизації) температура грає ключову роль. Однак дослідження в цій галузі свідчать про набагато більшу складність цього процесу: зростання та розвиток рослин залежать від безлічі внутрішніх та зовнішніх факторів. Було виявлено, що озимі та ранні ярі форми жита можуть повноцінного розвиватися та давати високі врожаї навіть за відсутності знижених температур, які раніше вважалися обов'язковими для проходження стадії яровизації. Наприклад, в умовах тривалого інтенсивного освітлення озиме жито успішно розвивається та плодоносить при підвищених температурах під час цієї стадії [11].

Водночас природне осіннє освітлення затримує розвиток озимого жита, сприяючи його кращій зимостійкості. Низькі температури впливають її реакцію світ, що визначає розвиток у весняно-літній період після зимівлі. Чим більше рослини затримуються в зростанні на початкових стадіях за певних світлових умов, тим більш вираженою стає їхня реакція на знижені температури.

Температура та освітленість відіграють важливу роль і в нормальному розвитку озимого жита. Порушення їхньої взаємодії може суттєво змінити динаміку зростання. Відмінності у температурних та світлових режимах у період від сходів до догляду рослин під зиму, спричинені різними термінами посіву, призводять до значних змін органогенезу. Наприклад, змінюються розміри конусів наростання, а розвиток рослин після зимівлі відчутно сповільнюється [12]. Також зазначено, що співвідношення між морфобіотипами у врожаї може сильно відрізнятися під впливом конкретних умов довкілля.

Додатково проведено поглиблені дослідження ролі світла у розвитку злакових культур. Це включає вивчення фотоперіодичних реакцій різних злаків, а також їх зв'язків з якістю та інтенсивністю освітлення. Важливо

пам'ятати про взаємозв'язок кожного окремого чинника коїться з іншими під час аналізу цього процесу.

Основний важливий висновок у тому, що реакція рослин світ набагато складніше, ніж вважалося раніше. Виявлено, що фотоперіодична реакція безпосередньо пов'язана з якістю сонячного світла та його спектральним складом. Інтенсивність освітлення, яка залежить від кута падіння сонячних променів, також істотно впливає на тривалість вегетації. Низьке положення сонця сповільнює фазу виходу жита в трубку і подовжує загальний період її зростання настільки, що насіння часто не встигає дозріти [13].

Крім того, якість світла та його інтенсивність мають значний вплив на морфологічні характеристики жита: висоту рослини, довжину колосу та кількість вузлів. Формування цих властивостей потребує досить інтенсивного світла. Найбільш сприятливим для всіх сортів жита є природне денне світло, а також ранкове та вечірнє освітлення при 12-годинному світловому дні. При низькій інтенсивності освітлення або полуденному режимі (при тій же кількості годинника) ці морфологічні показники розвиваються значно слабше.

Оскільки світловий режим рослин визначається безліччю факторів, цілком виправдане прагнення регулювати його за допомогою агротехнічних методів, таких як густина посіву, орієнтація рядів щодо сторін світла та інші підходи. У цьому контексті заслуговують на увагу рекомендації про застосування широкорядного стрічкового посіву жита з наступним підгортанням рослин протягом вегетаційного періоду [13]. Таке розміщення сприяє покращенню світлового режиму, формує міцніші рослини, підвищує їхню зимостійкість, стійкість до посухи та вилягання. Однак метод не супроводжується економічним обґрунтуванням, що є важливим аспектом для ухвалення рішення щодо впровадження запропонованого підходу до сільськогосподарської практики.

2.3 Формування та функціонування фотосинтетичного апарату у рослин жита озимого

Значним аспектом у процесі формування та функціонування фотосинтетичного апарату озимого жита вважається дослідження її пігментної системи. Втрата пігментів у листі під час зимівлі відіграє важливу роль у підвищенні зимостійкості рослини. Хоча за період зимівлі жито втрачає значну частину пігментів, з початком вегетації їх вміст швидко відновлюється. Протягом вегетаційного періоду жито відрізняється високим рівнем пігментів, особливо хлорофілу, значно перевершуючи показники пшениці. Це зумовлено тим, що її пігментна система краще адаптована до умов освітлення, характерних для весняно-осіннього періоду, де переважає довгохвильова радіація [14].

Окрім високої чистої продуктивності фотосинтезу, посіви жита характеризуються збільшеною калорійністю сухої речовини. Це з дещо вищим вмістом білків і жирів проти вуглеводами. Також варто відзначити помітне збільшення калорійності надземних частин рослини під час зимового похолодання.

Пігментна система жита виявляє високу лабільність: вона швидко руйнує свою структуру, включаючи продукти розкладання у загальний метаболізм, і так само швидко відновлюється за сприятливих умов. Це сприяє ефективній роботі фотосинтетичного апарату та накопиченню органічної маси.

Фотосинтетичний апарат жита надзвичайно чутливий як до термінів посіву, так і способів його проведення. Наприклад, при ранньому літньому широкорядному посіві покращується світловий режим та площа живлення рослин, що посилює ефект підживлення. Листя таких рослин відрізняється більш інтенсивним зеленим відтінком у порівнянні з рядовими посівами, здійсненими у серпні. Підвищений вміст білка в зерні при дозріванні літніх широкорядних посівів пов'язаний із гідролізом білково-ліпоїдного комплексу

пігментів, продукти якого використовуються у білкових синтезах. Завдяки розширеній площі живлення фотосинтез таких рослин відбувається більш активно, що сприяє збільшенню врожайності зерна.

2.4 Роль дихання в продукційному процесі, водний обмін та мінеральне харчування

При вивченні дихальних процесів у жита основна увага приділяється дослідженню загартовування, тобто адаптації рослини до знижених температур. Цей процес розглядається як з точки зору газообміну, так і активності ферментів, таких як поліфенолоксидаз, пероксидаз і аскорбіноксидаз. Зі зниженням температури дихальна активність рослин поступово знижується, тоді як активність пероксидази восени зростає. Активність поліфенолоксидази збільшується до грудня, потім практично знижується до нуля [15].

Однією з ключових фізіологічних причин холодостійкості рослин, що зимують, вважається перебудова дихальної системи під час загартовування, включаючи підвищення активності пероксидази. Це підвищує здатність рослин забезпечувати себе енергією підтримки життєдіяльності за умов низьких температур.

Дослідження [16] показують, що озиме жито характеризується більшою здатністю засвоювати кисень у період вегетації проти пшеницею. З настанням холодів у жита відбувається значна зміна газообміну дихання, зокрема, зниження дихального коефіцієнта, що також виділяє її серед зернових. Більше ефективне засвоєння кисню сприяє захисту рослини в несприятливих умовах, мінімізуючи утворення продуктів анаеробного дихання, які можуть послабити зимуючі рослини.

Зниження фізіологічної здатності до засвоєння кисню часто пов'язані з утворенням льоду тканинах. Це призводить до зневоднення протоплазми та ферментів, що зменшує їхню каталітичну активність. Цікаво, що пероксидаз

цей ефект виражений сильніше, ніж у декарбоксилаз. Така відмінність пояснюється меншою водоутримуючою здатністю оксидів білків у порівнянні з декарбоксилазами.

Результати експериментів [17] з обробкою листя жита та пшениці розчином сахарози підтвердили ці спостереження: у міру збільшення концентрації сахарози інтенсивність поглинання кисню суттєво знижувалася, особливо у пшениці. Також було виявлено, що з жита пероксидази виявляють вищу активність, ніж пшениці, на відміну декарбоксилаз. На підставі цих даних було запропоновано модель рослини, адаптованої до несприятливих зимових умов.

Забезпечення рослин достатньою кількістю води є найважливішою умовою їхнього нормального розвитку. Для раціонального використання водних ресурсів у землеробстві потрібне глибоке вивчення водоспоживання різних сільськогосподарських культур та факторів, що впливають на стійкість рослин до нестачі вологи. Важливо розуміти особливості водообміну на різних стадіях розвитку рослин та вплив зовнішніх умов на цей процес.

Численні дані [18] свідчать про те, що приріст біомаси рослин може змінюватись в залежності від умов харчування та стану ґрунту. Проте зміна маси рослин який завжди співвідноситься з характером споживання води. Це пояснюється відмінностями зовнішніх факторів та особливостями умов харчування рослин.

Раніше транспіраційний коефіцієнт вважався одним з надійних біологічних критеріїв класифікації рослин за посухостійкістю та особливостями водообміну. Цей коефіцієнт знаходиться в тісній залежності від забезпеченості рослин вологою та поживними речовинами: чим кращі умови харчування, тим економічніша витрачається вода. Згодом для визначення норм водоспоживання стали застосовувати коефіцієнти водоспоживання, які враховують відношення загальної витрати води на транспірацію та випаровування ґрунтом до виходу органічної маси.

Коефіцієнти водоспоживання варіюються залежно від умов ґрунту, величини врожаю та рівня вмісту вологи, що робить їх важливим інструментом при вивченні впливу агротехніки на ефективність використання вологи. Транспіраційний коефіцієнт може розглядатися як індикатор адаптаційної здатності рослини до змін навколишнього середовища.

Поглинання води рослиною здійснюється переважно кореневою системою, функція якої ґрунтується на високій метаболічній активності. При цьому ключовими факторами є величина поглинаючої поверхні кореня, його розташування в ґрунті та інтенсифікація роботи в різних умовах водного та поживного режиму.

Розміри корневих систем рослин значно перевершують ті, які зазвичай становлять, спираючись на залишки коренів, що виявляються при викопуванні. При цьому більшість найактивніших тонких корінців часто виявляється пошкодженою. У злакових культур, таких як овес, жито, пшениця та інші, коріння може заглиблюватися у ґрунт на 1,5–2 метри і більше, поширюючись також у ширину.

Дослідження показали [16], що коренева система зимового жита в умовах експерименту з використанням великих дерев'яних ящиків досягала вельми значних розмірів на етапі колосіння у добре розвинених екземплярів. Важливо враховувати, що різні ділянки коренів мають неоднакову здатність поглинати воду та поживні речовини. Найбільшу активність виявляють кореневі волоски, тоді як частини кореня з одеревілою поверхнею функціонують менш інтенсивно. Крім того, коренева система відрізняється винятковою здатністю до розгалуження, багаторазово перевищуючи цей показник у надземної частини рослини.

Зона коренів, що росте, досить коротка - близько 10 мм або трохи більше, що контрастує з довшою зоною росту біля стебел (від 2–4 см до 30 см і більше). Кореневі системи поділяються на інтенсивні (з добре

розвиненим розгалуженням, великою кількістю мочкуватого коріння і значною поглинальною поверхнею) і екстенсивні, що характеризуються протилежними властивостями.

Доступність води у ґрунті для рослин залежить від фізичних характеристик, хімічного складу субстрату, природи органічних речовин, форми зв'язку води із ґрунтовими частинками, а також особливостей самої кореневої системи. Ці чинники грають ключову роль засвоєнні ґрунтової вологи [9, 10].

У кліматичних умовах нашої країни посухи є серйозною проблемою. Під цим терміном розуміються періоди без опадів, що супроводжуються високою температурою та зниженою вологістю повітря. Посухи бувають атмосферними і ґрунтовими, причому останні найчастіше йдуть за першими. Атмосферна посуха може виникати як за штильової погоди, так і у вигляді сухого гарячого вітру, нерідко досягаючи форми імли. Імла затягує атмосферу серпанком, що іноді супроводжується вітром (суховієм), який завдає рослинам серйозної шкоди [19].

Залежно від пори року виділяють весняні, літні, осінні та навіть зимові посухи. За тривалістю вони поділяються на короткочасні та тривалі. Навіть нетривалі періоди посух негативно позначаються на рослинах. Попередження їх ушкоджень потребує грамотного застосування агротехнічних заходів, вибору стійких до посухи культур та сортів та постійної роботи щодо підвищення їх адаптації.

Посуха надає різноманітну дію: перегрів викликає ушкодження тканин (так зване "запалення"), що проявляються некротичними плямами на листі з часом. А при суховіях листя втрачає вологу і висихає, зберігаючи свій зелений колір.

Жито за своїми біологічними характеристиками краще за інші культури використовує опади осінньо-зимового періоду завдяки порівняно низькому коефіцієнту транспірації. Воно вважається стійкою до посух культурою, проте теж відчуває несприятливий вплив. Особливо добре жито

переносить весняні посухи завдяки потужній кореневій системі та ранньому пробудженню навесні. У цьому плані жито має переваги перед озимою пшеницею у посушливих регіонах України. Найбільше значення для врожайності відіграють достатні запаси вологи в осінній період (фаза кушіння) і під час виходу в трубку до колосіння. Нестача води цих етапах чи період наповнення зерна призводить до втрати врожаю і зниження якості зерен. Однак до повітряних посух жито менш чутливе, ніж пшениця.

Процес засвоєння поживних елементів взимку житом також має свої особливості: максимальна потреба в поживних речовинах спостерігається у фазу кушіння і виходу в трубку, коли формуються колоски та статеві органи рослини.

В осінній період зростання озимого жита характеризується активним розвитком листя та кореневої системи, тоді як інші органи рослин залишаються на стадії зародкового розвитку. Холодні температури уповільнюють процеси зростання, сприяючи накопиченню вуглеводів, які є основною запасною речовиною для рослин жита та джерелом енергії для дихання. У цей час поряд з азотом особливу роль відіграють фосфор і калій, що беруть участь у освіті пластичних речовин [16].

Посилене харчування фосфором і калієм на ранніх стадіях розвитку сприяє гарному укоріненню та кущенню рослин, а також накопиченню цукру, що знижує ризик вимерзання. Калій підвищує гідрофільність протоплазми та її водоутримуючу здатність, що важливо для нормального перебігу синтетичних процесів у клітинах, включаючи відтік вуглеводів. Крім того, він необхідний для правильного розвитку меристематичних тканин. Нестача калію може порушувати синтез ферментів, таких як флавінові дегідрогенази, що відбивається на диханні та зимостійкості жита. Порушення дихання взимку знижують стійкість рослин та негативно впливають на врожайність [16, 21].

Калій також стимулює синтез хлорофілу та посилює асиміляційну активність листя. Його активне поглинання починається з ранніх стадій зростання, досягаючи максимуму під час цвітіння. До кінця формування колосу надходження калію припиняється і починається його перерозподіл для повторного використання [22].

Фосфорна кислота надходить у рослини до повного дозрівання насіння, тому що вона відіграє ключову роль у процесах дихання та фотосинтезу. Це впливає на обмін речовин, синтетичні процеси та синтез білків. Фосфор входить до складу нуклеопротейдів, на які багаті меристематичні тканини зародкових органів. Дефіцит фосфору порушує обмін речовин та синтез білків, що може призвести до їх руйнування при вираженому нестачі цього елемента.

Найбільша потреба у фосфорі у жита відзначається під час світлової стадії розвитку. Забезпеченість цим елементом у період формування колоскових горбків впливає на майбутню структуру рослини та врожайність. Відсутність фосфору у період знижує продуктивність, і пізніше харчування вже нездатна компенсувати цей недолік. У світлову стадію також зростає потреба в азоті та калії.

Надмірне внесення азоту восени може призвести до надмірного зростання рослин, зниження їх загартовування, вимерзання або випрівання взимку. Проте азотні добрива необхідні ґрунтах з низьким вмістом азоту [21].

Озиме жито менш вимогливе до ґрунтових умов порівняно з пшеницею. Вона дає хороші врожаї на суглинистих, піщаних і навіть заболочених ґрунтах завдяки потужній кореневій системі, здатній витягувати поживні речовини з глибоких шарів ґрунту. Коріння жита також засвоює елементи з важкорозчинних добрив. Тим не менш, жито чутливе до кислих ґрунтів, але вапнування суттєво підвищує його врожайність. Кальцій не тільки покращує ефективність мінеральних добрив, а й стимулює ґрунтову мікрофлору, збагачуючи ґрунт поживними речовинами. Максимальний ефект

помітний при поєднанні вапнування з органічними добривами, що також покращує фізичні властивості ґрунту.

Крім основних поживних речовин – азоту, фосфору, калію та кальцію – озиме жито потребує мікроелементів: магнію, залози, марганцю, бору, міді та цинку [21]. На лужних ґрунтах деякі мікроелементи стають малодоступними для рослин; у такому разі ефективні передпосівні обробки насіння або обприскування розчинами солей мікроелементів.

Магній особливо важливий для жита не тільки через свою присутність у молекулі хлорофілу, але й завдяки здатності активувати ферменти, що беруть участь у дихальних процесах.

2.5 Найпоширеніші шкідники та хвороби жита озимого

Щорічні значні втрати врожаю зернових культур, спричинені хворобами, потребують ретельного вивчення їх збудників та механізмів ослаблення рослин. Хвороби рослин викликаються мікроорганізмами різних груп, які суттєво відрізняються за своїми біологічними особливостями. Отже, дослідники та практики стикаються не лише з різноманітністю ушкоджень рослин, а й із широким спектром паразитів [23].

У сучасних дослідженнях імунітету рослин до хвороб виявлено загальні закономірності, що характеризують процеси, що відбуваються в рослинах під час зараження. Це включає генетичні, біохімічні та екологічні аспекти, що супроводжують розвиток захворювань.

Особливий інтерес викликають дослідження активних реакцій рослин на інфекцію, включаючи виявлення фіталексинів – захисних речовин, що виробляються у відповідь на патоген [24]. Також вивчаються їх структура та функції, зміни активності ферментів у уражених клітинах стійких та сприйнятливих рослин, а також вплив захворювань на метаболізм.

Для глибшого розуміння системи «рослина – патогенний організм» важливо враховувати генетичну основу взаємодії цих організмів. Досягненням у цій галузі стало створення ізогенних ліній одного сорту рослини, що відрізняються за стійкістю до патогенів. Такі лінії отримані для низки культур, стійких до іржі [25].

Однак, незважаючи на велику різноманітність рослинних захворювань, детально вивчено лише обмежену кількість збудників та їхню взаємодію з господарями. Крім загальних закономірностей розвитку захворювань, кожному за конкретного випадку важливо враховувати особливості як рослини, і патогена.

Прикладом є снігова пліснява озимих культур [26]. Хвороба проявляється навесні на посівах озимого жита, пшениці та багаторічних трав. Під час танення снігу або відразу після нього уражені рослини покриваються біло-сірим або рожевим нальотом грибкового міцелію. Найчастіше страждають листя, стебла та іноді вузли кущіння. Уражені рослини часто гинуть, що призводить до скорочення густини озимих посівів. Розвиток захворювання багато в чому залежить від зовнішніх факторів: стану ґрунту під снігом (промерзлого або непромерзлого), частоти зимових відлиг, рельєфу поля та інших умов.

Збудниками снігової плісняви є факультативні паразитичні гриби, що мешкають у ґрунті. Вони чудово випримувають морози до -30°C і зберігаються у ґрунті, а й у рослинних залишках. Тут вони утворюють як конідіоспори, і сумкоспори. Зараження озимих походить від міцелію *Fusarium* у ґрунті, а також суперечка грибів на рослинних залишках та в зараженому насінні. Фузаріозна поразка зерна найчастіше починається в період цвітіння при поширенні сумкоспор із плодових тіл гриба [26].

Різні сорти озимих культур демонструють різний рівень сприйнятливості до захворювання. Для захисту від снігової плісняви поряд з дотриманням агротехнічних норм рекомендується виведення стійких сортів та попереднє оброблення насіння.

Склеротініоз найчастіше вражає озиме жито, пшеницю та деякі багаторічні злакові рослини. Захворювання найчастіше проявляється у північно-східних регіонах країни і за зовнішніми симптомами схоже на снігову плісняву. Основні ознаки хвороби стають помітними навесні: на озимих культурах, звільнених від снігу, з'являються сірі нальоти міцелію гриба, найчастіше на окремих ділянках поля. Склеротініоз викликає загнивання та загибель рослин через ураження листя та нижньої частини стебел. На сьогоднішній день повністю стійких до цієї хвороби сортів немає. Боротьба з цим захворюванням проводиться аналогічними методами, як і у разі сніжної плісняви [23, 26].

Поширення стеблової сажки жита спостерігається переважно у північних та західних регіонах країни, його збудником є гриб *Urocystis occulta* [24]. Суперечки цього виду легко відрізняються від суперечок інших грибів-паразитів злаків - вони мають компактну будову, де центральні суперечки великі та темні, а периферичні - світлі та заповнені повітрям, при цьому останні не мають здатності до проростання. Захворювання вражає головним чином листя та верхні міжвузля стебел жита. На цих ділянках формуються сірі лінії, крізь які просвічуються чорні скупчення суперечка. Пізніше епідерміс тріскає вздовж уражених смуг, оголюючи чорну спорову масу. Спори, що звільнилися, потрапляють у ґрунт, але зберігаються там недовго, тому рідко викликають зараження молодих пагонів. Оптимальна температура для інфікування ґрунту – 13–20 °C при помірній вологості. Гриб вражає лише жито, інші злакові культури не переходить. Основним методом боротьби із цим захворюванням є протруювання насіння для нейтралізації поверхневої інфекції.

Тверда сажка жита виражається зміною форми зернівки: вони стають більш округлими і роздутими. При стисканні заражених зернівок виділяється маса спор із різким запахом триметиламіну. Збудником цієї хвороби є *Tilletia secalis* [24], який розвивається стандартно для більшості сажкових грибів. Зараження рослин відбувається в період проростання зернівок, а симптоми

стають помітними в момент колосіння. Перенесення інфекції на насіння відбувається під час обмолоту. Захворювання виявляється локально у північних та західних районах України та часто пов'язане з багаторічним вирощуванням жита на одній ділянці. Крім протруювання зерна, вирішенням проблеми служить правильне чергування культур у сівозміні.

Бура (листова) іржа жита вражає рослини, починаючи з етапу сходів. На верхній стороні листя та в пазухах з'являються дрібні іржаво-бурі пустули, рівномірно розподілені по уражених тканинах. Збудник хвороби може проростати вже наприкінці літа – на початку осені, заражаючи проміжних господарів із числа декоративних рослин, але роль таких стадій у розвитку захворювання мінімальна. Більша частина життєвого циклу гриба пов'язана з уредоспорою - саме вона забезпечує поширення збудника в полі та здатна зимувати на озимих культурах навіть за низьких температур. Зростає ризик поширення із зерном при обмолоті — передбачається, що хворобу було завезено до низки країн таким шляхом, наприклад, із Франції до Південної Америки [24].

Гриб відрізняється стійкістю до температурних змін, а також здатний розвиватися за вологості 60-65%, що дозволяє віднести його до ксерофітних організмів. Бура іржа поширена на посівних землях нашої країни. Для боротьби із захворюванням застосовують стійкі сорти та агротехнічні заходи: це посіви озимини в оптимальні терміни, використання фосфорно-калійних добрив, видалення падалиці, весняне боронування, а також внесення мікроелементів у ґрунт.

3 ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ ЖИТА ОЗИМОГО НА ТЕРИТОРІЇ ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ

3.1 Адаптація сільського господарства до кліматичних змін

Сільськогосподарська галузь сьогодні стикається із серйозним викликом: необхідно забезпечити достатню кількість продовольства для населення, яке, згідно з прогнозами, до 2050 року становитиме близько дев'яти мільярдів осіб. Збільшення площі орних земель обмежене, а зміна клімату з його непередбачуваними погодними коливаннями, повеннями та іншими катастрофічними наслідками створює додаткові труднощі у забезпеченні продовольством людства. Сьогодні значна увага приділяється технологіям для адаптації цієї сфери до кліматичних умов, що змінюються [27].

У різних регіонах світу вже розроблені або перебувають на стадії впровадження технології та практики, спрямовані на підвищення стійкості сільськогосподарського сектора до змін клімату. Серед них можна виділити удосконалення систем прогнозування погоди, раціональне використання водних ресурсів, впровадження краплинного зрошення, збереження родючості ґрунтів, модернізацію тваринництва та адаптацію сільськогосподарських культур до нових умов [28]. Деякі заходи вимагають значних інвестицій, у той час як інші зосереджені на підвищенні рівня освіти та здатності фермерів освоювати нові методи.

Історично склалося так, що землероби століттями адаптували свої практики до мінливих умов середовища. Однак сучасна зміна клімату ставить під загрозу їхній добробут через зростаючу невизначеність і частіші екстремальні події, такі як повені, посухи та заморозки. Сьогодні робляться активні зусилля зі збирання та документування досвіду землеробів. Ці дані часто доступні на інтернет-платформах та спеціалізованих виданнях. Крім

того, існує велика кількість літератури, присвяченої проектам та програмам, реалізованим як державними структурами, так і неурядовими організаціями.

Однією з причин особливої вразливості сільського господарства перед зміною клімату є залежність цієї галузі від біорізноманіття та якості довкілля. Природні ресурси, такі як чиста питна вода, гарні ґрунти, наявність запилювачів та хижаків для регулювання екосистеми, а також стабільні погодні умови – це критично важливо для ефективного виробництва. Зміни клімату впливають на розподіл опадів, що позначається на доступності водних ресурсів у сухих регіонах або викликає надмірну вологість в інших районах.

Ці процеси загрожують зробити частину сільськогосподарських земель непридатною для використання в аграрних цілях. Також змінюються терміни вегетаційного періоду рослин та знижується загальна продуктивність сільського господарства. Проте в деяких районах високих широт можливе подовження періоду вирощування може позитивно вплинути на врожайність - за умови відсутності негативних змін рівня опадів [28].

У дослідженні «Інструкція з адаптації до зміни клімату», створеної міжнародною групою вчених, виділено 22 технології адаптації для сільського господарства [29]. Ці технології ґрунтуються на принципах агроекології з використанням наукових розробок у галузі кліматології та біологічних наук. Вони також доповнюються соціологічними підходами та механізмами зміцнення потенціалу, необхідними для успішної адаптації до кліматичних змін. Серед таких технологій можна відзначити:

- кліматичне планування та управління ризиками;
- раціональне використання водних ресурсів;
- стійке управління ґрунтами;
- оптимізація рослинництва;
- розвиток сталого тваринництва;
- підтримка цілісних фермерських систем.

Технології, орієнтовані виключно на стандартизацію навколишнього середовища та сільськогосподарських процесів, в умовах зростаючого екологічного стресу показують дедалі меншу ефективність. Навпаки, підходи, які враховують різноманітність екосистем та підтримують їх природний баланс, з більшою ймовірністю зможуть справлятися з непередбачуваними наслідками кліматичних змін, зміцнюючи стійкість сільськогосподарських систем до викликів майбутнього.

Науковці [29] вважають, що технології, продемонстровані в цій «Інструкції», були відібрані тому, що вони сприяють збереженню та відновленню різноманітності, а також забезпечують можливість підвищення продуктивності сільського господарства. Багато з цих технологій не є новинкою в галузі методів сільськогосподарського виробництва, але вони здійснюються на основі оцінки поточних та можливих у майбутньому впливів зміни клімату у конкретній місцевості. Агроекологія – це підхід, що включає концепції сталого виробництва та розширення біорізноманіття, що є корисною основою для ідентифікації та вибору відповідних технологій з адаптації для сільськогосподарського сектора.

Вчені [29] вважають, що технології, продемонстровані у цій Інструкції, були відібрані тому, що вони сприяють збереженню та відновленню різноманітності, а також забезпечують можливість підвищення продуктивності сільського господарства. Багато технологій не є новинкою в області методів сільськогосподарського виробництва, але вони здійснюються на основі оцінки поточних та можливих у майбутньому впливів зміни клімату у конкретній місцевості. Агроекологія – це підхід, що включає концепції сталого виробництва та розширення біорізноманіття, що є корисною основою для ідентифікації та вибору відповідних технологій адаптації сільськогосподарського сектора.

3.2 Загальна характеристика фізико-географічних та агрокліматичних умов району дослідження

Західний Лісостеп є перехідною зоною між Поліссям і Степом, що відрізняється хвилястим рельєфом з височинами (такими як Подільська), перетнутими ярами [30].

Клімат території характеризується помірно-континентальними умовами з м'якою та досить вологою погодою. Зимовий період тут малосніжний, нестабільний та відносно теплий, а літо зазвичай тепле та помірно вологе. Температура повітря в середньому варіюється від 7,4 до 8,6 °С. У зимові місяці, наприклад, у січні, середня температура становить від -1,7 до -3,9 °С, а влітку, у розпал сезону, вона досягає позначок 18,6–19,8 °С [31].

Якщо говорити про вологість та вологозабезпеченість регіону, ситуація загалом досить сприятлива завдяки достатній кількості ефективних температур. Опади, інколи, можуть випадати в надмірних обсягах, що створює умови у розвиток різноманітних хвороб рослин. Для запобігання подібним ризикам рекомендується використовувати ранньостиглі та середньостиглі гібриди з високою стійкістю до захворювань, а також впроваджувати ефективний фунгіцидний захист.

Обсяг опадів у регіоні в середньому становить 625–693 мм на рік, але показники можуть змінюватись в залежності від території — від 513 до 769 мм. Максимальна кількість опадів в цілому за рік може інколи досягати 1035–1094 мм, тоді як у посушливі роки рівень знижується до 317–373 мм. Важливо відзначити, що близько 70% річних опадів посідає теплий період [31].

Вологість повітря з квітня до жовтня коливається між 62–70% та 75–84% залежно від району (рис. 3.1). Число посушливих днів, опускається до 30% і нижче, становить у середньому від 3 до 15. Такі екстремальні

показники трапляються нечасто і характерні лише для максимальних значень [31].

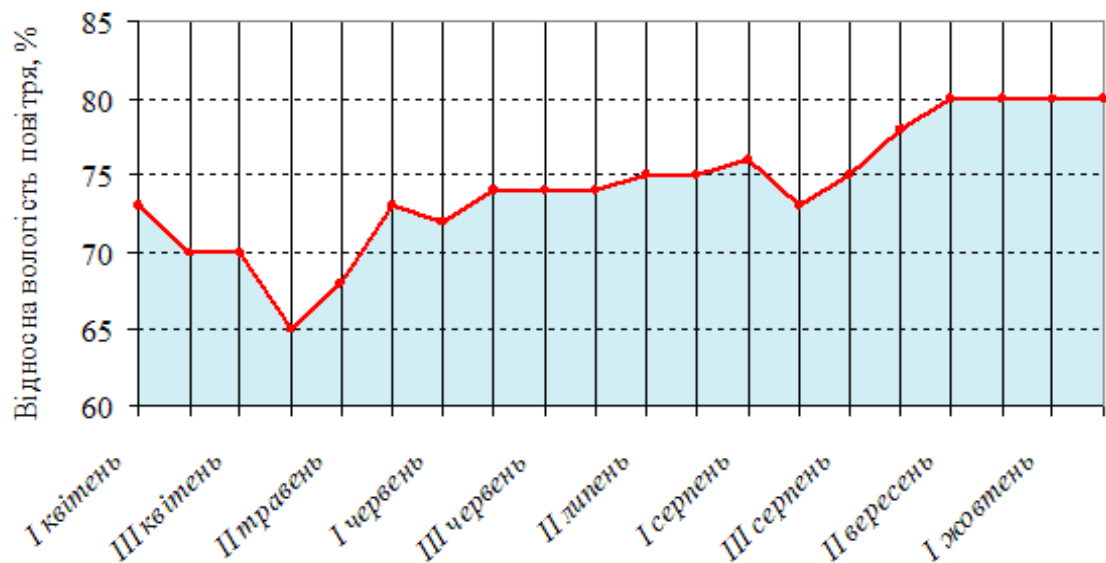


Рисунок 3.1 – Середня вологість повітря (%) по декадах за теплий період (з квітня по жовтень) на території Західного Лісостепу

Однак за останні десятиліття часто фіксуються зими без стійкого снігового покриву. Зимовий період часто супроводжується відлигами, які за тривалого впливу здатні зруйнувати сніговий покрив.

Сумарна кількість позитивних температур вище 5 °C за цей період варіюється від 2926 до 3188 °C. Активна вегетація сільськогосподарських культур (за середньодобових температур повітря від 10 °C і від) триває в середньому від 163 до 172 днів, можливе відхилення за роками від 140 до 210 днів. Цей період зазвичай стартує у другій чи третій декаді квітня і завершується у першій декаді жовтня, з накопиченням температур вище 10 °C у межах 2460–2600 °C [32]. У теплий період (з квітня по жовтня) кількість днів із суховіями досягає в середньому 16, хоча бувають роки, коли вони повністю відсутні.

Ландшафт цієї місцевості поєднує лісові ділянки (переважно дуб, граб, клен) та відкриті степові простори. З агрокліматичної точки зору регіон є сприятливим для землеробства, особливо для вирощування зернових та технічних культур завдяки високій родючості ґрунтів та комфортним температурним умовам.

3.3 Оцінка агрокліматичних умови вирощування жита озимого в умовах зміни клімату на території дослідження

Коли тривають довго температурні зміни або кількість опадів дуже мінлива, це має менший вплив на сільське господарство в порівнянні з екстремальними явищами. Ці рідкісні події суттєво впливають на врожайність, викликаючи економічний стрес та «зміни ризику» не протиставляються, а скоріше доповнюють одна одну в процесі визначення нових функцій перерозподілу врожайності, що було сформовано під впливом сучасних змін клімату.

Нами було проаналізовано відхилення поточних даних від середнього багаторічного значення за базовий період. У цьому важливому дослідженні за базовий період було обрано інтервал з 1991 по 2020 роки. Для прогнозування кліматичних змін використовувалися сценарії RCP4.5 та RCP8.5 [27].

Інформація про теплові ресурси періоду вегетації рослин відіграє важливу роль для вирішення різних завдань у сільськогосподарському виробництві. Це стосується визначення термінів сівби та дозрівання, підбору оптимальних сортів та видів рослин, а також аналізу ймовірності пошкодження врожаю екстремально високими чи низькими температурами.

Доступні рослинам термічні ресурси залежать від річного перебігу температур повітря та ґрунту. Нинішнє потепління клімату проявляється у збільшення середньорічних температур. Воно супроводжується змінами добових та річних амплітуд температури. Наприклад, подовження

безморозного періоду можна вважати позитивним фактором, проте при цьому скорочення фази наливу зерна і раннє дозрівання через підвищення температур часто призводять до зниження врожайності.

Для об'єктивної оцінки впливу кліматичних змін на теплові ресурси слід розглядати широкий спектр показників. Використання кліматичних індексів в агрокліматології дозволяє комплексніше аналізувати термічні ресурси та їх вплив на сільське господарство.

Агрокліматичні умови періоду вегетації жита озимого при реалізації сценаріїв зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 у Західному Лісостепу на прикладі Львівської області були зіставлені багаторічними осередненими даними за 1991–2020 роки (рис. 3.2).

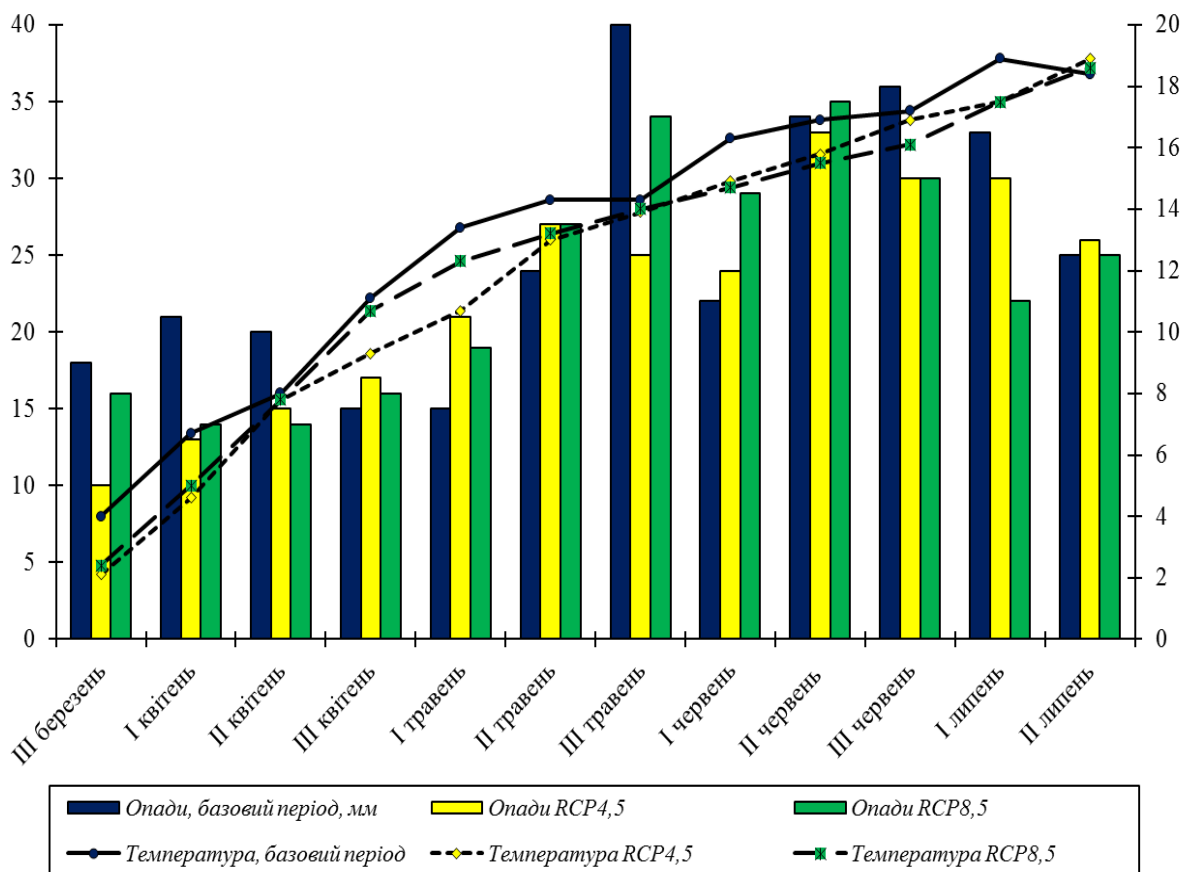


Рисунок 3.2 – Агрокліматичні умови періоду вегетації жита озимого в Львівській області за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у порівнянні з середніми багаторічними даними

Пропонується розглянути, яким чином зміни клімату вплинуть на терміни настання основних фаз розвитку культури, динаміку зростання у міжфазні періоди, показники фотосинтетичної продуктивності та обсяги врожаю озимого жита. Згідно з середніми багаторічними даними, відновлення вегетації зазвичай відбувається у третій декаді березня, наприклад, 28 березня (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 - Фази розвитку жита озимого за середньо багаторічними даними та за кліматичними змінами RCP4.5 і RCP8.5 в Західному Лісостепу (Львівська область)

Період	Відновлення вегетації	Поява нижнього вузла соломини	Колосіння	Воскова стиглість	Тривалість періоду, дні
1991-2010	28.03	26.04	17.05	11.07	102
RCP4.5	6.04	2.05	26.05	20.07	101
Різниця	+8	+6	+9	+9	-1
RCP8.5	5.04	30.04	22.05	18.07	104
Різниця	+7	+4	+5	+7	+2

За сценарієм RCP4.5 відновлення вегетації жита озимого очікується у першій декаді квітня (6.04), що на вісім днів пізніше за середні багаторічні терміни. Згідно зі сценарієм RCP8.5, цей процес прогнозується на 5 квітня, тобто на сім днів пізніше за середню багаторічну дату.

Початок появи нижнього вузла зазвичай спостерігається 26 квітня. У сценарії RCP4.5 очікується зрушення на друге травня при температурі близько 211 °С на 6 днів пізніше. При умовах RCP8.5 ця фаза передбачувана на 30 квітня з температурою близько 210 °С, збігаючись із середньобагаторічними показниками.

Колосіння жита озимого в умовах Львівської області за базових умов відбувається 17 травня. За сценарієм RCP4.5 ця фаза зміщується на 26 травня,

а за RCP8.5 - на 22 травня, що пізніше базових умов на дев'ять та п'ять днів відповідно.

Воскова стиглість жита озимого традиційно посідає 11 липня. Сценарій RCP4.5 передбачає зрушення на 20 липня, а сценарій RCP8.5 - на 18 липня, що становить незначне збільшення – лише на декілька днів (табл. 3.1).

Весняний розвиток озимого жита, що відбувається в умовах тривалого світлового дня, залежить від скорочення денного світла. Уповільнення спостерігається при зменшенні світлового періоду до 12 годин, тоді як додавання ранкового або вечірнього освітлення дозволяє рослинам розвиватися нормально. Це пов'язано з тим, що в першому випадку відсутня значна частка довгохвильової радіації, яка особливо посилюється вранці та ввечері.

Розглянемо термічні умови періоду вегетації жита озимого в умовах Львівської області за середньобаторічними даними та оцінімо очікувані зміни за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 (табл. 3.2). Середня температура повітря за період відновлення вегетації – нижній вузол соломини за багаторічними даними становить 8,2 °C. У сценаріях зміни клімату RCP4.5 очікується збільшення на 1,4 °C, а за сценарієм RCP8.5 змін майже не відбудеться - лише на 0,2 °C. За сумами активних температур змін не очікується.

За всіма кліматичними сценаріями очікується скорочення сумарної кількості опадів на початку періоду вегетації озимого жита. Максимальне зниження за період відновлення вегетації – поява нижнього вузла кущіння прогнозується за сценарієм RCP8.5 - на 26%, тоді як за сценарієм RCP4.5 падіння становитиме 18% щодо багаторічних даних.

Поява нижнього вузла соломини є важливим етапом у розвитку зернових культур, який передуює фазі колосіння. Саме в цьому вузлі формуються бічні пагони (кущіння) та вузлова коренева система, що забезпечують рослині стійкість та закладають основу для майбутнього

врожаю. В цей час колос подовжується всередині стебла, готуючись до виходу над поверхнею ґрунту напередодні колосіння.

Таблиця 3.2 - Агрокліматичні умови вирощування жита озимого за середньо багаторічними даними та за кліматичними змінами RCP4.5 і RCP8.5 в Західному Лісостепу (Львівська область)

Період	Відновлення вегетації - поява нижнього вузла соломини			Поява нижнього вузла соломини - колосіння			Колосіння - воскова стиглість			Весь період вегетації		
	t	T	R	t	T	R	t	T	R	t	T	R
1991-2020	8,2	214	100	13,3	279	100	16,6	912	100	13,8	1405	100
RCP4.5	9,6	211	82	12,6	299	155	16,5	910	89	14,1	1420	97
Різниця	+1,4	-3	-18	-0,7	+20	+55	-0,1	-2	-11	+0,3	+15	-3
RCP8.5	8,4	210	74	12,9	283	140	15,9	909	95	13,5	1402	98
Різниця	+0,2	-4	-26	-0,4	+14	+40	-0,7	-3	-5	-0,3	-3	-2
Примітка: t – середня температура повітря за період, °C; T – сума активних температур за період, °C; R – сума опадів за період, %.												

Середня температура повітря за період поява нижнього вузла соломини - колосіння за багаторічними даними становить 13,3 °C. У сценаріях зміни клімату RCP4.5 очікується зниження на 0,7 °C, а за сценарієм RCP8.5 - на 0,4 °C. За сумами активних температур очікується незначне збільшення – на 14 -20 °C (табл. 3.2). Значні зміни зі знаком «+» очікуються за кількістю опадів. Так, за сценарієм RCP8.5 очікується збільшення на 40%, тоді як за сценарієм RCP4.5 збільшення становитиме 55% по відношенню до багаторічних даних.

Наступна фаза, що розглядається нами – це воскова стиглість. Ця стадія настає на пізнішому етапі дозрівання, коли зерно залишається м'яким, але набуває воскової консистенції. Воно легко розчавлюється пальцями, яке вміст стає густим, нагадуючи віск. Ця стадія свідчить про наближення часу

збирання врожаю і є критично важливою для харчування рослин, особливо азотом, оскільки впливає на налив зерна.

В умовах Львівської області фаза воскової стиглості настає у середині липня. Середня температура повітря за період колосіння – воскова стиглість за багаторічними даними становить 16,6 °С. У сценаріях зміни клімату RCP4.5 змін не очікується, але за сценарієм RCP8.5 очікується зниження на 0,7 °С. За сумами активних температур змін не очікується. Щодо умов зволоження, то суттєві зміни очікуються тільки за сценарієм RCP4.5 – зменшення на 11%, тоді як за сценарієм RCP8.5 зменшення становитиме лише на 5% по відношенню до багаторічних даних (табл. 3.2).

Розглянемо період весняно-літньої вегетації в цілому. За тривалістю періоду в цілому змін не очікується, зміни очікуються тільки за початком настання фаз розвитку – очікується, що відновлення вегетації буде відбуватися пізніше (табл. 3.1).

Середня температура повітря за період від відновлення вегетації до воскової стиглості за багаторічними даними становить 13,8 °С. У сценаріях зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 очікуються незначні зміни в межах +0,3 °С та -0,3 °С відповідно.

Сума активних температур за аналогічний період за середніми багаторічними даними дорівнює 1405 °С. Згідно зі сценарієм RCP4.5 та RCP8.5 суттєвих змін не очікується.

Щодо кількості опадів – зміни за сценаріями становлять лише 2-3% зі знаком «-». Але очікуються значні зміни щодо розподілу кількості опадів по періодам. Так, суттєві зміни очікуються в період поява нижнього вузла соломини – колосіння – збільшення у 1,5 рази, що може призвести до зниження врожайності за рахунок перезволоження.

Таким чином, в умовах Львівської області реалізація сценарію RCP4.5 та RCP8.5 передбачає розвиток жита озимого в умовах підвищеної температури повітря за винятком періоду поява нижнього вузла – колосіння. Очікується значний перерозподіл опадів у перші два розглянутих міжфазних

періодах. у першому зі знаком «-», а другому навпаки. За тривалістю весняно-літнього періоду вегетації суттєвих змін не прогнозується.

3.4 Оцінка фотосинтетичної продуктивності посівів жита озимого в умовах зміни клімату

Сьогодні фотосинтез залишається однією з ключових наукових проблем, вирішення якої відіграє важливу роль у збереженні людської цивілізації на планеті. Особливо при забезпечення продовольчих і енергетичних ресурсів через підвищення продуктивності природних і культурних екосистем. Спочатку вважалося, що продуктивність рослин перебуває у прямій залежності від інтенсивності фотосинтезу. Тому вчені спрямовували зусилля дослідження цього зв'язку, прагнучі довести, що збільшення інтенсивності фотосинтезу веде до збільшення загальної фітомаси, включаючи врожай. Однак подальші дослідження виявили, що залежність між цими показниками набагато складніша [33].

Проривом у вивченні фотосинтезу стала розроблена у 1950-х роках теорія фотосинтетичної продуктивності. Відповідно до цієї теорії, посів культурних рослин розглядається як динамічна система, що повністю залежить від поглинається сонячної енергії та коефіцієнта її використання на фотосинтез. Усі агротехнічні прийоми (вибір сортів, щільність посіву, терміни та методи посадки, забезпечення рослин водою та мінералами) спрямовані на створення оптимальної структури посіву, що корисно для фотосинтезу та формування врожаю. При цьому забезпечення рослин водою та поживними речовинами має відповідати рівню сонячної енергії, доступної в конкретній географічній зоні.

Для кожної зони вирощування можна підібрати оптимальне поєднання умов середовища – вологості, світлового фактору, складу повітряного та мінерального живлення – яке дозволить розкрити максимальний потенціал фотосинтетичної активності залежно від генотипних особливостей рослин.

На цій основі створюються збалансовані системи селекції та агротехнічних заходів, які забезпечують одержання запланованих урожаїв із заданим рівнем ефективності фотосинтетичного активного радіаційного (ФАР) використання. Теорія також вводить поняття про оптимальний розподіл площі листя протягом вегетації та про фотосинтетичні потенціали агрофітоценозу, враховуючи географічні особливості надходження ФАР, її взаємодію з температурою, фізіологічними характеристиками та екологічними вимогами рослин.

Дослідження виявляють види та сорти рослин, що формують найбільш ефективні структури з високою фотосинтетичною продуктивністю. Визначаються оптимальні коефіцієнти використання енергії, необхідні ресурси вологи та мінерального живлення для досягнення цих показників [16, 17, 27]. Аналізувати доводиться також розрив між теоретично можливими та фактичними показниками фотосинтезу, щоб усунути причини невідповідності та розробити шляхи їх подолання.

Згідно з теорією, урожай є результатом складної інтегральної фотосинтетичної діяльності рослин, починаючи з поглинання сонячної радіації і завершуючи ланцюжком перетворень речовин і енергії [34]. Цей підхід поєднує різні рівні організації фотосинтетичного апарату - від хлоропластів до всієї системи агрофітоценозу - у єдину систему, яка потребує узгоджених дій підвищення продуктивності культурних рослин. Головною метою цих досліджень є розробка науково обґрунтованих методів планування врожаїв на основі кліматичних умов, кількості сонячної радіації, а також комплексу агротехнічних та селекційних заходів для кожної окремої зони вирощування.

«Основними показниками ефективності процесу фотосинтезу є площа листя, індекс листової поверхні, фотосинтетичний потенціал та чиста продуктивність фотосинтезу» [33]. Оцінка впливу змін клімату на продуктивність жита озимого виконана на основі динамічної моделі продуктивності посівів сільськогосподарських культур А.М. Польового [35].

Ідентифікація параметрів моделі проведено на основі даних спостережень на мережі гідрометеорологічних станцій Гідрометеорологічної Служби України Державної служби із надзвичайних ситуацій України [36].

Площа листя відіграє ключову роль у забезпеченні високої продуктивності рослин, значно впливаючи на процес формування врожайності сільськогосподарських культур. Залежно від умов зростання посівів, темпи приросту площі листя можуть відрізнятися, так само як і розміри, що досягаються [33, 34].

Для створення якісних посівів потрібна стабільність листової поверхні протягом усієї фази вегетації. Цього можна досягти за рахунок швидкого приросту листя, їх тривалого функціонування, а також завдяки збільшеній тривалості періоду вегетації. Такі посіви можуть поглинати до 50–60% фотосинтетично-активної радіації [33].

Оптимальні показники розвитку та тривала активна робота листової поверхні досягаються за дотримання низки умов. До них відносяться: правильна норма висіву насіння для кожної культури, повноцінне мінеральне харчування рослин та достатнє водозабезпечення посівів.

Звернемося до аналізу відмінностей у розмірах листової площі рослин в умовах Львівської області за різних варіантів. У період «максимального розвитку середня площа листя» за багаторічний період становить $3,08 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (табл. 3.3). Згідно з RCP4.5 та RCP8.5 спостерігається її не суттєве зменшення до $3,00 \text{ м}^2/\text{м}^2$ та $3,03 \text{ м}^2/\text{м}^2$ відповідно.

Розглянемо графік 3.3. Видно, що, незважаючи на подібну форму динаміки протягом вегетації в весняно-літній період, кількісні показники відрізняються для кожного сценарію, особливо у фазі колосіння.

Основний фактор урожайності жита озимого - це інтенсивність фотосинтезу, який є процесом перетворення сонячної енергії в органічну речовину за допомогою хлорофілу. Інтенсивність фотосинтезу визначається такими факторами, як освітленість, температура та інші параметри середовища.

Таблиця 3.3 – Показники фотосинтетичної продуктивності посівів жита озимого за середньо багаторічними даними та за кліматичними змінами RCP4.5 і RCP8.5 в Західному Лісостепу (Львівська область)

Період	Варіант	Період максимального росту			Суха біомаса цілої рослини, г/м ²	Урожай, ц/га
		площа листової поверхні, м ² /м ²	приріст загальної сухої біомаси, г/м ² за добу	чиста продуктивність фотосинтезу, г/м ² за добу		
1991-2020	Базовий	3,08	20,96	7,2	920	100
2021–2050	RCP4.5	3,00	18,17	6,5	739	75
	RCP8.5	3,03	19,41	7,1	904	97

На графіку 3.4 представлена динаміка середньої декадної інтенсивності фотосинтезу культури жита озимого для кліматичних сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 порівняно з даними за багаторічний період.

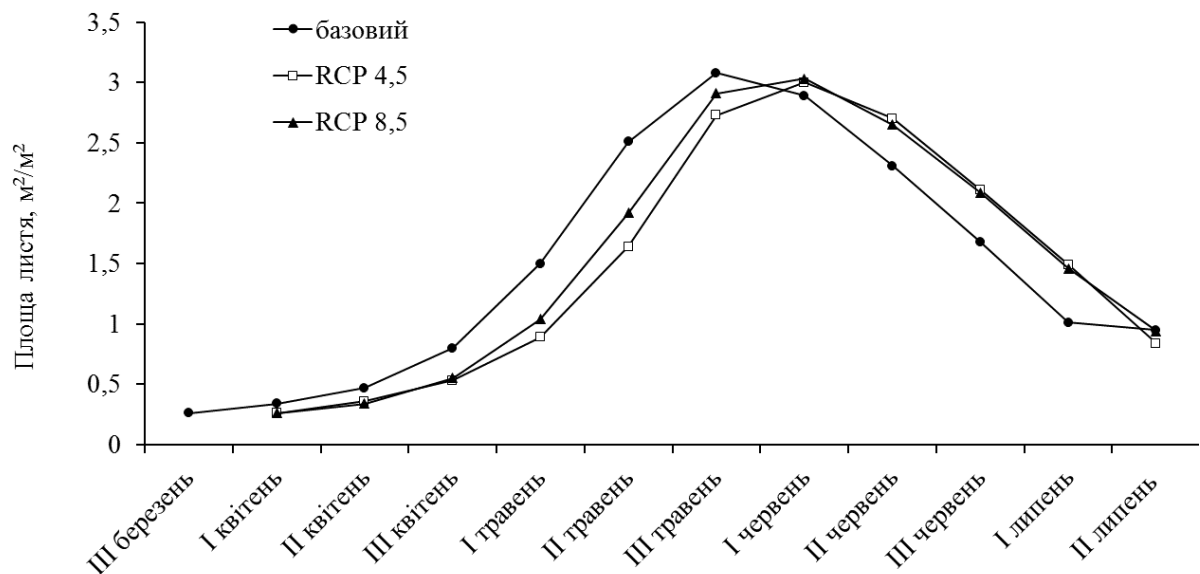


Рисунок 3.3 – Динаміка відносної площі листя посівів жита озимого за період весняної вегетації за середньо багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за сценаріями в умовах Львівської області

Очікується незначне зменшення показників інтенсивності фотосинтезу: за середніх багаторічних умов вони становлять 27,24 мг CO₂/(дм²*год), тоді як за прогнозами для RCP4.5 та RCP8.5 значення досягають позначки 25,11 та 26,52 мг CO₂/(дм²*год) відповідно. Як і у випадку з площею листа, максимальні значення відносяться до фази колосіння.

Близько 95% сухої маси рослин формується з органічних речовин, що утворюються у процесі фотосинтезу. Таким чином, зміни сухої біомаси можуть бути індикатором інтенсивності асиміляційних процесів. Однією з характеристик продуктивності рослин є чиста продуктивність фотосинтезу, динаміка якої відображена на графіку 3.5 для середніх багаторічних даних та кліматичних умов RCP4.5 та RCP8.5.

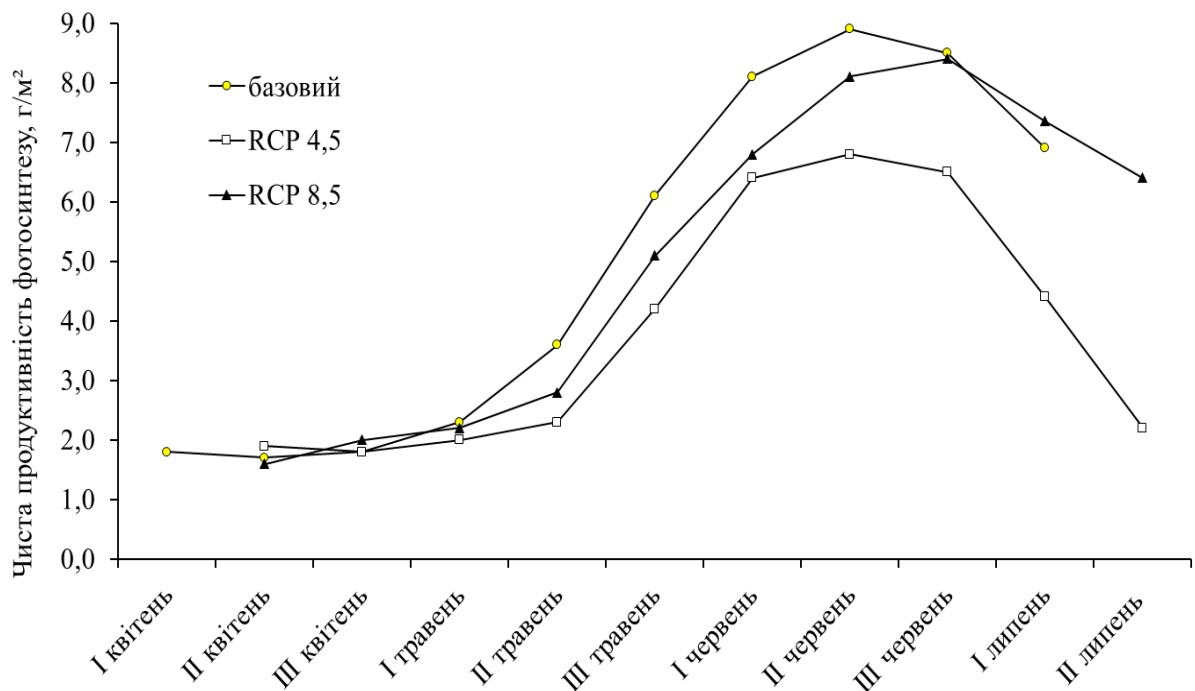


Рисунок 3.4 – Динаміка середньої за декаду інтенсивності фотосинтезу посівів жита озимого за період весняної вегетації за середньо багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за сценаріями в умовах Львівської області

Максимальне середньодекадне значення чистої продуктивності фотосинтезу посівів жита озимого за багаторічний період становить $8,9 \text{ г/м}^2$ згідно з даними таблиці 3.3. Однак зміна кліматичних умов за сценарієм RCP4.5, хоч й не відрізняється суттєво за площею листя порівняно з поточними показниками, передбачає зниження чистої продуктивності до рівня $6,8 \text{ г/м}^2$. Очікувано, що за сценарієм кліматичних змін RCP8.5 чиста продуктивність буде на рівні $8,4 \text{ г/м}^2$, вважаючи на значення площі листя у цьому варіанті.

Ключовим фактором продуктивного процесу формування врожайності зерна жита озимого є накопичення сухої маси рослин. Добре розвинена вегетативна маса сприяє виробленню значної кількості асимілятів, які згодом перетворюються на зерно.

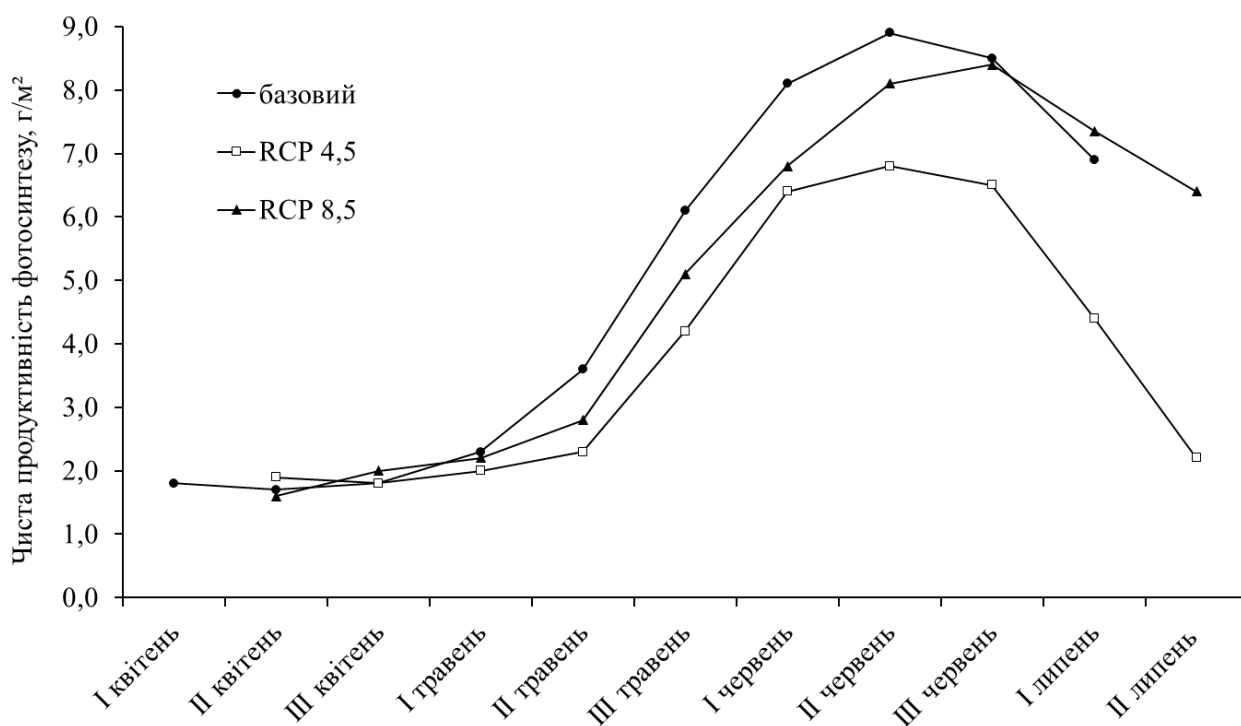


Рисунок 3.5 – Динаміка чистої продуктивності фотосинтезу посівів жита озимого за період весняної вегетації за середньо багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за сценаріями в умовах Львівської області

Накопичення сухої речовини посівом залежить від швидкості фотосинтезу, що визначається сукупністю зовнішніх та внутрішніх факторів. Динаміка приросту сухої біомаси цілої рослини за період вегетації в умовах кліматичних змін порівняно з багаторічними середніми значеннями представлена на рисунку 3.6. За всіх розглянутих кліматичних сценаріях прогнозується збільшення приросту загальної сухої біомаси під час вегетації озимого жита. Хоча протягом вегетаційного періоду динаміка приросту біомаси за багаторічними та кліматичними сценаріями подібна, кількісні значення помітно відрізняються.

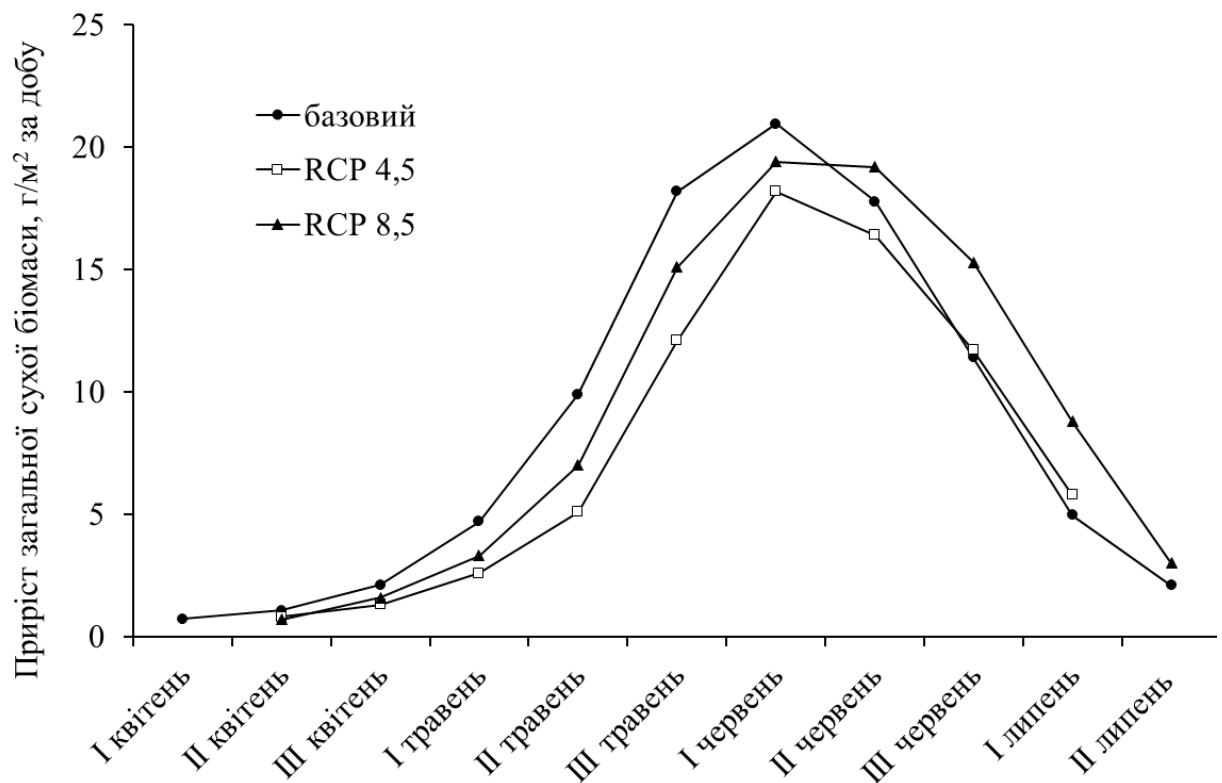


Рисунок 3.6 – Динаміка приростів загальної сухої біомаси посівів жита озимого за період весняної вегетації за середньо багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за сценаріями в умовах Львівської області

Розглянемо зміни приросту для умов Львівської області. Максимальний приріст за багаторічний період становив $20,96 \text{ г/м}^2$ за добу (табл. 3.3). Очікується зменшення цього показника як за RCP4.5 (до $18,17 \text{ г/м}^2$ за добу), так і RCP8.5 (до $19,41 \text{ г/м}^2$ за добу).

Максимальна загальна суха біомаса посівів жита озимого за багаторічний період становить 919 г/м^2 (табл. 3.3) (рис. 3.7). За RCP8.5 - незначне зменшення до 904 г/м^2 , тоді як за RCP4.5 прогнозується більш зниження цього показника до 739 г/м^2 (рис. 3.7).

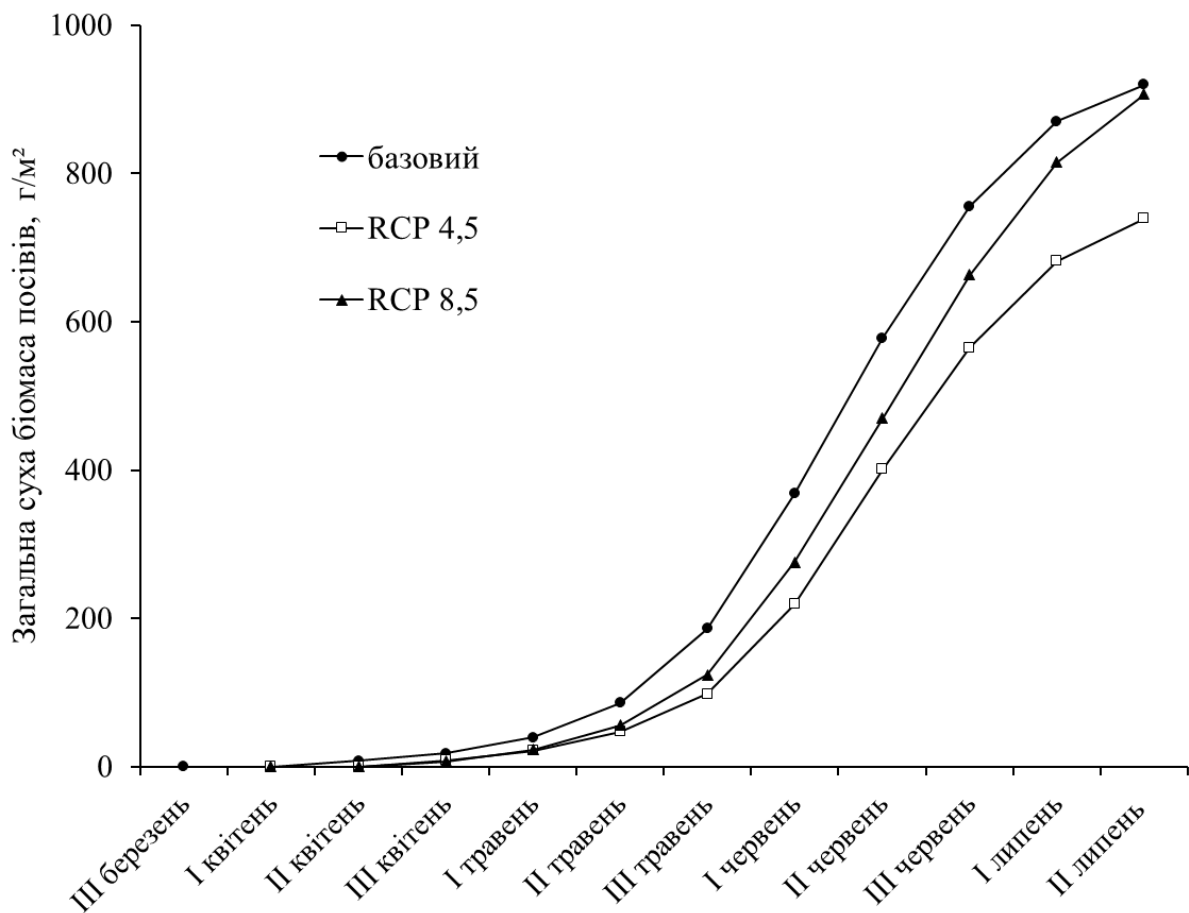


Рисунок 3.7 – Динаміка загальної сухої біомаси посівів жита озимого за період весняної вегетації за середньо багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за сценаріями в умовах Львівської області

Основна мета вирощування будь-якої зернової культури полягає у отриманні якісного зерна. Зерно жита повинно мати високі хлібопекарські властивості, які, на відміну від пшениці, визначаються станом крохмалю, а не вмістом клейковини та її якістю. Згідно з прогнозами кліматичних змін, урожайність озимого жита може суттєво знизитися на 25% за RCP4.5, але за іншим сценарієм зниження очікується лише на 3%.

Озиме жито має унікальні біологічні властивості, включаючи невибагливість та здатність давати високі врожаї навіть у складних умовах вирощування. З урахуванням адаптивної реакції рослин на зміни кліматичних умов Західного Лісостепу, а особисто Львівської області, рекомендується використання сучасних сортів озимого жита, що відрізняються підвищеною стійкістю до умов перезволоження та захворювань, що можуть бути цим викликані.

4 ОЦІНКА МІНЛИВОСТІ ВРОЖАЙНОСТІ ЖИТА ОЗИМОГО В ЛЬВІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ

4.1 Методи оцінки мінливості врожайності сільськогосподарських культур

Мінливість урожайності є складним процесом, який неможливо адекватно охарактеризувати лише відхиленнями від середньої багаторічної величини. Вона є взаємодією основної тенденції та періодичних коливань, які можуть відхилятися від цієї тенденції у різні часові періоди. Зниження рівня цих коливань та підвищення стійкості виробництва – ключові завдання не лише для аграрної галузі, а й для інших галузей економіки.

Розуміння взаємозв'язків між сільськогосподарськими культурами та факторами, що на них впливають, надає можливість приймати обґрунтовані рішення в плануванні сільськогосподарського виробництва, а також прогнозувати результативність різних агротехнічних заходів. Для об'єктивної оцінки таких чинників необхідні глибокі знання у економіці і технологіях, а й статистичне обґрунтування щодо методів вирощування сільськогосподарських культур. При цьому погодні умови, метеорологічні фактори та виробниче середовище постійно зазнають змін. Ці зміни іноді виявляються корисними, але частіше завдають значної шкоди.

Дослідження щодо зміни клімату вказують, що в майбутньому очікується збільшення кількості аномально спекотних періодів та скорочення тривалості холодних сезонів [34, 36]. Спекотні проміжки стануть довше і зустрічатимуться частіше. У таких умовах стає необхідним покращувати продуктивність сільськогосподарських культур за рахунок удосконалення методів землеробства. Відповідно підібрана система управління землеробством здатна компенсувати дефіцит природних ресурсів та наблизити врожайність до максимально можливого рівня у конкретних кліматичних умовах.

Фактори впливу на продуктивність рослин умовно поділяються на три групи:

1. Стійкі фактори, що включають характеристики розташування, складу ґрунту, біології рослин та інші параметри.
2. Фактори, залежні від технологій землеробства, що сприяють збільшенню врожайності культур в аграрному виробництві.
3. Динамічні чинники, здатні як позитивно, і негативно впливати на врожайність; їх облік допомагає оптимізувати застосування різних методів вирощування та визначити економічну вигоду виробництва.

Дослідниками виділяє два класи факторів, що впливають на сільськогосподарське виробництво [34]:

1. Чинники, що визначають рівень культури землеробства.
2. Агromетeоролoгiчнi чинники.

Перша група факторів формує загальну тенденцію змін урожайності, тоді як друга – зумовлює щорічні її коливання щодо тренду, характерного для цієї території.

Тенденція врожайності визначається культурою землеробства за середнього рівня ґрунтово-кліматичних умов. Її значне підвищення досягається рахунок застосування сучасних наукових і технологічних досягнень. У свою чергу випадкові коливання в часових рядах обумовлені агromетeоролoгiчними особливостями конкретного року.

Статистична оцінка рівня культури землеробства базується на аналізі трендів мінливості врожайності, при цьому коливання лінії тренду відбивають вплив змін агromетeоролoгiчних умов. Лінія тренду відображає нормальний рівень врожайності для певного регіону з урахуванням його середніх кліматичних характеристик і стану культури землеробства. Відхилення від цієї лінії краще ілюструють масштаб змін у врожайності, спричинених агromетeоролoгiчними факторами, ніж просте зіставлення із багаторічними середніми значеннями. Це з тим, що лінія тренду вже

враховує ефект підвищення врожайності завдяки розвитку технологій землеробства [37].

4.2 Просторово-часова оцінка мінливості врожайності жита озимого в умовах Львівської області

У період із 2000 по 2025 роки було проведено аналіз динаміки врожайності жита озимого у Львівській області. Так, за допомогою методу гармонійних ваг визначено тенденцію врожайності, проаналізовано часові ряди та визначено відхилення між розрахунковими та фактичними значеннями тренду. Також було проведено оцінку адекватності обраного виду тренду та перевірено гіпотезу про стаціонарність випадкової компоненти як випадкового процесу. Підсумки дослідження наочно представлено на рисунках 4.1 та 4.2.

На графіках плавна крива відбиває загальний тренд врожайності, а ламана лінія демонструє щорічні коливання, викликані різними чинниками. В тому числі й кліматом. За визначений період урожайність жита озимого у Львівській області демонструвала не значну мінливість (рис. 4.1). Найменша врожайність зафіксована на початку - у 2000 та 2006 роках - відповідно 15,9 ц/га та 15,6 ц/га. Максимальних показників урожайності досягнуто у 2025 році – 38,2 ц/га. також високі врожаї було отримано наприкінці досліджуваного періоду – близько 34 ц/га. Середня врожайність за період склала 26,5 ц/га. Аналіз тренду свідчить про середньорічний приріст врожайності на 0,8 ц/га.

Розрахована вирівняна врожайність кожного року демонструє досягнутий рівень агротехніки, тоді як метеорологічна компонента характеризує варіації врожайності, зумовлені кліматичними особливостями. За досліджувані 26 роки відзначено два значні негативні відхилення - у 2016 році (-4,3 ц/га) та у 2023 році (-3,6 ц/га). Найменші негативні відхилення спостерігалися в 2012 та 2021 роках (-0,1 ц/га), а коливання, що залишилися,

залишилися в межах від -0,5 до -1,5,0 ц/га. Ці дані свідчать про наявність несприятливих чи вкрай несприятливих погодних умов у зазначені роки.

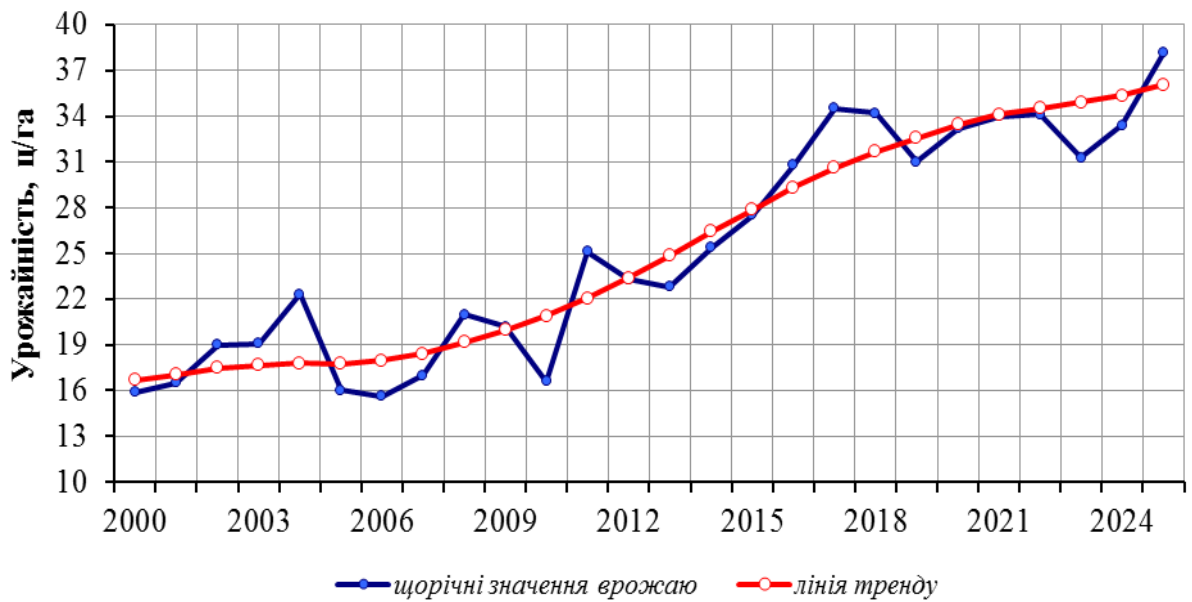


Рисунок 4.1 – Динаміка врожайності жита озимого та лінія тренду в Львівській області

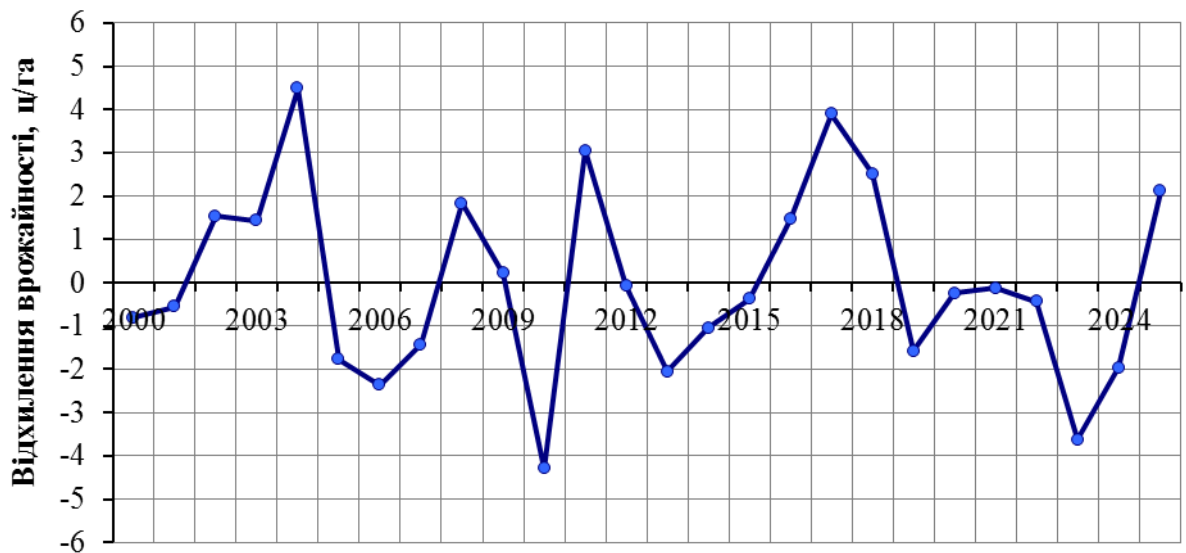


Рисунок 4.2 – Відхилення врожайності жита озимого від лінії тренду в Львівській області

У той же час, протягом лише 10 років зі сприятливими кліматичними умовами відзначені позитивні відхилення від лінії тренду. Найбільш вдалим стали 2004 та 2017 роки, де приріст склав відповідно 3,9 та 4,5 ц/га. Також у 2011 році відхилення з позначкою «+» в 3,1 ц/га, а у 2018 році – 2,5 ц/га (рис. 4.2).

Найчастіше міжрічна мінливість виникає за впливу погодних умов. Як запропонував В.М. Пасов [35], розрахунок кліматичної складової проводять з урахуванням поточного значення врожайності, середнього арифметичного за n-літній період та прогнозованої (розрахункової) врожайності.

За величиною кліматичної складової мінливості виділяються три зони стійкості врожаїв:

1. $C_m \leq 0,20$ – зона найбільш стійких урожаїв.
2. C_m від 0,21 до 0,29 – зона помірно-стійких урожаїв.
3. $C_m \geq 0,30$ – зона нестійких урожаїв.

За проведеними розрахунками кліматична складова у Львівській області склала $0,24 \pm 0,027$, що відносить регіон до зони помірно-стійких урожаїв. Незважаючи на позитивну динаміку з 2000 по 2025 роки, показники регіону залишаються нижчими за середні по Україні. Проте приріст урожайності у сприятливі роки частково компенсує втрати під час несприятливих.

ВИСНОВКИ

Кліматичні зміни мають негативний вплив на сільське господарство, провокуючи екстремальні погодні умови. Це призводить до зниження врожаїв, втрати поголів'я худоби, а також активного поширення захворювань та поширенню хвороб. В умовах, що склалися, необхідна адаптація, що включає впровадження стійких сортів культур, використання інноваційних технологій (наприклад, систем зрошення і методів збереження ресурсів), а також нові підходи до тваринницької діяльності. Такі заходи роблять виробництво більш витратним та технологічно складним. Проте, в окремих помірних регіонах спостерігається потенціал збільшення врожайності деяких культур.

У якості підсумків можна виділити такі пункти:

1. Проведено аналіз сучасного стану і перспективи вирощування жита озимого в Україні. Розглянуто динаміку змін у виробництва та проведено кількісна оцінка стану виробництва 2025 року у розрізі областей.

2. Проведено аналіз поточного стану вивчення сучасних питань щодо фізіології озимого жита та умов його вирощування у Західному Лісостепу України.

3. Визначено дати настання основних фаз розвитку культури як за середніми багаторічними даними, так й за умовами RCP4.5 та RCP8.5. Розраховано, що в умовах зміні клімату відновлення вегетації очікується на 8–9 днів пізніше. Також, за нашими розрахунками прогнозується незначне скорочення періоду вегетації.

4. Провівши аналіз агрокліматичних умов вирощування було визначено, що при здійсненні сценарію RCP4.5 температурні умови вегетації будуть прохолоднішими, тоді як при сценарії RCP8.5 значних змін не передбачається. Крім того, прогнозується перерозподіл та збільшення обсягу опадів другому міжфазному періоді, що може призвести до умов перезволоження та негативно вплинути на кількість та якість врожаю.

5. Розраховано характеристики фотосинтетичної продуктивності посівів, таких як площа листя, чиста продуктивність фотосинтезу, приріст маси рослин у період їх максимального розвитку, а також суха біомаса та врожайність озимого жита.

6. Встановлено, що середня площа листя (максимальний розвиток) за багаторічний період становить $3,08 \text{ м}^2/\text{м}^2$. При сценарії RCP4.5 очікується зменшення до $3,01 \text{ м}^2/\text{м}^2$, за RCP8.5 - до $3,03 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

7. Чиста продуктивність фотосинтезу загалом за багаторічними даними становить $7,2 \text{ г}/\text{м}^2$. Однак за сценарію RCP4.5 це значення очікується нижче - $6,5 \text{ г}/\text{м}^2$. У той же час, при сценарії RCP8.5 чиста продуктивність прогнозується на рівні $7,1 \text{ г}/\text{м}^2$.

8. Суха біомаса (загальна) рослин озимого жита склала в середньому $920 \text{ г}/\text{м}^2$ за багаторічний період. За сценарієм RCP8.5 прогнозується зниження до $904 \text{ г}/\text{м}^2$, а за RCP4.5 - зниження до $739 \text{ г}/\text{м}^2$.

9. Дослідження виявило певні тенденції зміни сезонних характеристик опадів та температури повітря у Західному Лісостепу, що призвело до відповідних змін урожайності: при RCP4.5 вона знизиться на 25%, тоді як за RCP8.5 лише на 3%.

10. Для успішного вирощування жита в умовах перезволоження необхідно передбачити дренажну систему, віддавати перевагу стійким сортам, а також дотримуватися оптимальної глибини і щільнішої норми висіву, що передбачає неглибоке загортання насіння. Важливо контролювати використання азотних добрив, щоб не допустити надмірного росту рослин на тлі надмірної вологи, що може призвести до вилягання. Також слід приділити увагу якісній підготовці ґрунту: покращити її структуру та запобігти застою води. Збирання врожаю необхідно проводити своєчасно, щоб уникнути втрат через можливе гниття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Костюкєвич Т.К. Оцінка впливу зміни клімату (RCP 8.5) на продуктивність жита озимого в Східному Лісостепу України. Modern trends in science and practice. Volume 1 : collective monograph / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2021. Р. 18-23. DOI: 10.51587/9781-7364-13302-2021-005-18-23 (Загальна монографії: 174 р. Available at: DOI : 10.51587/9781-7364-13302-2021-005)
2. Костюкєвич Т.К. Оцінка потенціалу посівів озимого жита щодо використання на енергетичні цілі в умовах зміни клімату (RCP 6.0) на території Західного Полісся України. Енергетична незалежність сільських територій як пріоритетна модель розвитку: міжнародний та вітчизняний досвід : матеріали І Міжнар. наук.- практ. конф. (Полтава, 20 травня 2020). Полтава : РВВ ПДАА, 2020. С 78-80.
3. Державна служба статистики України. Сайт Державного департаменту статистики України. Сільське господарство. Рослинництво. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>. (дата звернення: 8.10.2025 р.).
4. Коротка історична довідка селекції озимого жита в інституті рослинництва ім. В.Я. Юр'єва (1911-1963).). URL: <https://yuriev.com.ua/assets/files/laboratorii-ir/zhito-istorichna-dovidka.pdf> (дата звернення: 12.10.2025 р.).
5. Костюкєвич Т.К., Бортник М.І. Агрометеорологічні умови формування врожаю озимого жита в Львівській області в весняно-літній період. *Вісник Гідрометцентру Чорного та Азовського морів*. Державна гідрометеорологічна служба України. 2019. №2(22). С.136-145.
6. Де вирощують жито: головні регіони світу. <https://gelios.ua/de-vyroshhuyut-zhyto-golovni-regiony-svitu/>. (дата звернення: 12.10.2025 р.).

7. Авраменко С. Новітні аспекти вирощування жита озимого. Агробізнес сьогодні. 2011. № 17(216). URL: <http://agro-business.com.ua> (дата звернення: 12.10.2025 р.).
8. Єгоров Д.К., Змієвська О.А. Становлення та діяльність лабораторії селекції та генетики жита озимого Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН. *Селекція і насінництво*. 2018. № 113. С.235-238. URL: <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2018.134389>. (дата звернення: 12.10.2025 р.).
9. Лихочвор В.В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. 2-е видання, виправлене. Київ : Центр Навчальної літератури, 2004. 808 с.
10. Зінченко О.І. Рослинництво : підручник / за ред. О.І. Зінченко, В.М. Салатенко, М.А. Білоножко. Київ : «Аграрна освіта», 2001. 592 с. URL: <https://lib.dsau.dp.ua/pub/roslinictvo.pdf>. (дата звернення: 3.05.2024 р.).
11. Білявська Л. Г., Білявський Ю. В. Сучасний стан насінництва жита озимого в Україні. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 2. С. 67–73.
12. Рябовол Я. С., Рябовол Л. О. Зміна архітекτονіки колосу, як оди із чинників підвищення продуктивності жита озимого. *Вісник Уманського НУС*. Умань, 2016. Вип. № 1. С. 69–71.
13. Єщенко В.О., Копитко П.Г., Опришко В.П., Костогриз П.В. Основи наукових досліджень в агрономії : підручник / за ред. В.О. Єщенка. Київ : Дія, 2005. 288 с.
14. Скорик В. В., Скорик В. В., Симоненко Н. В., Скорик О. П. Селекція жита (*Secale cereale* L) на підвищену фотосинтетичну активність листя. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. Київ, 2009. № 1 (9). С. 58–62.
15. Єгоров Д.К., Циганко В.А., Дем'яненко С.Б. Жито озиме як поновлюване джерело енергії. *Селекція і насінництво*. 2020. Вип. 117.

- С. 164-178. URL: <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2020.207162>. (дата звернення: 17.10.2025 р.).
16. Технологія вирощування жита озимого / за редкол. М. В. Зубця [та ін.] // Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Полісся і західному регіоні України. Київ: Аграрна наука, 2010. С. 217–220.
 17. Статистичний аналіз результатів польових дослідів у землеробстві: монографія / В.О. Ушкаренко, Р.А. Вожегова, С.П. Голобородько, С.В. Коковихін. Херсон: Айлант, 2013. 378 с.
 18. Грицик Н. М. Озиме жито для вирощування у беззмінних посівах за інтенсивною технологією. *Хімія. Агрономія. Сервіс*. 2011. № 11. С. 34–37.
 19. Адаменко Т. І. Зміна агрокліматичних умов і їх вплив на зернове господарство України. *Погода і зернове господарство України*. Дніпропетровськ, 2004. С. 3-6.
 20. Ворона Л. І. Удосконалена технологія вирощування озимого жита в умовах Полісся. *Аграрна наука – виробництво*. 2011. № 2. С. 19-26.
 21. Господаренко Г.М., Пташник М.М. Динаміка вмісту азоту в рослинах жита озимого та коефіцієнт його використання із добрив. *Вісник Уманського Національного університету садівництва*. 2014. № 1. С. 21–24.
 22. Польовий В.М. Оптимізація систем удобрення у сучасному землеробстві : монографія. Рівне : Волинські обереги, 2007. 320 с.
 23. Писаренко В.М. Інтегрований захист рослин / за ред. В.М. Писаренко, М.А. Піщаленко, Г.Д. Поспєлова та інші. Полтава, 2020. 245 с.
 24. Захист жита озимого від хвороб і шкідників. Кириченко В.В., Петренкова В.П. и др. Українська академія аграрних наук. Інститут рослинництва ім. Юр'єва В.Я. УААН. Центр генетичних ресурсів України. Посібник українського хлібороба. Науково-практичний збірник. 2008. 123 с.

25. Єгоров Д. К. Озиме жито: дослідження стійкості сортів та ліній до грибкових захворювань. Основи селекції польових культур на стійкість до шкідливих організмів: навчальний посібник; Інститут рослинництва імені В.Я. Юр'єва / Д. К. Єгоров, В. П. Дерев'янко. Х., 2012. 236 с.
26. Пересипкін В. Ф. Сільськогосподарська фітопатологія: підручник. Київ: Аграрна освіта. 2000. 415 с.
27. Climate Change 2013: The Physical Science Basis / T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor [et al.] / Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2013. 1535 p. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> (дата звернення 6.12.2019 р.).
28. Зміна клімату та сільське господарство в Україні: що варто знати фермерам? /за редакцією Т. І. Адаменко. Київ. 2019. 36 с.
29. Clements, R., J. Hagggar, A. Quezada, and J. Torres. Technologies for adaptation to climate change Agricultural sector. Riso Centre, Roskilde, 2011. 273 pp.
30. Маринич О.М. Фізична географія України. Київ: Знання. 2003. 480с.
31. Атлас «Агрокліматичні ресурси України» /за редакцією Т. І. Адаменко, М. І. Кульбіди, А. Л. Прокопенка. Київ. 2016 . 113 с.
32. Методи оцінки і районування мікрокліматичної мінливості радіаційно-теплових ресурсів України для оптимізації розміщення сільськогосподарських культур / за ред. М. І. Кульбіди, З. А. Міщенко. Київ : УкрГМЦ, 2004. 111 с.
33. Польовий А.М. Сільськогосподарська метеорологія : підручник. Одеський державний екологічний університет. Одеса: ТЕС, 2012. 632с.
34. Харченко О.В. Основи програмування врожаїв сільськогосподарських культур: навчальний посібник / За ред. академіка УААН В.О. Ушкаренка. 2-е вид., перероб. і доп. Суми: ВТД “Університетська книга”, 2003. 296 с.

35. Польовий А.М. Базова модель оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур. *Метеорологія, кліматологія та гідрологія*. Одеса, 2004. Вип. 48. С. 195-205.
36. Дмитренко В.П. Принципи і засоби визначення потенціалу врожаю сільськогосподарських культур за еколого-географічними засадами. *Наук. пр. УкрНДГМІ*. 2005. Вип. 254. С. 9-29.
37. Вольвач О.В., Костюкевич Т.К. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Сільськогосподарська метеорологія» на тему «Оцінка часової мінливості врожаїв сільськогосподарських культур» для студентів III року навчання денної та заочної форм за спеціальністю 103 «Науки про Землю», рівень вищої освіти бакалавр. Одеса, ОДЕКУ, 2021. 23 с.