


УДК 631.811.9:678.048

№ держреєстрації

0116U002732

Інв.№

Міністерство освіти і науки України
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного
(ТДАТУ)


ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
д.т.н., професор
Анатолій ПАНЧЕНКО

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

Програма 1

**ОБГРУНТУВАННЯ АНТИСТРЕСОВИХ ПРИЙОМІВ У
РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЯХ
ВИРОЩУВАННЯ ЗЕРНОВИХ, ЗЕРНОБОБОВИХ І ОЛІЙНИХ
КУЛЬТУР У СТЕПОВІЙ ЗОНІ УКРАЇНИ**

(проміжний)

Директор НДІ АТЕ
д. т. н., професор



Олеся ПРИСС

Керівник НДР
к. с.-г. н., доцент



Максим КОЛЕСНИКОВ

2023

Рукопис закінчено 7 грудня 2023 р.
Результати цієї роботи розглянуто Науково-технічною радою
Науково-дослідного інституту «Агротехнологій та екології»
протокол № 4 від 27 грудня 2023 р.

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник проекту і відповідальний виконавець – кандидат сільськогосподарських наук, доцент	Максим Колесніков (участь у 1.3)
кандидат сільськогосподарських наук, доцент	Любов Покопцева (участь у 1.2)
кандидат сільськогосподарських наук, доцент	Зоя Білоусова (участь у 1.1)
кандидат біологічних наук, доцент	Юлія Пащенко (участь у 1.3)
кандидат сільськогосподарських наук, ст. викладач	Марина Капінос (участь у 1.3)
асистент	Катерина Степанова (участь у 1.1)
асистент	Ольга Онищенко (участь у 1.2)
аспірант	Анастасія Веренчук (участь у 1.2)
асистент	Вікторія Кенева (участь у 1.1)
ст. викладач	Ніна Нежнова (участь у 1.1)

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: складається з 47 с., 13 рис., 12 табл..

Об'єкт досліджень - процес формування врожайності та якості насіння сільськогосподарських культур.

Мета роботи: оптимізувати продукційний процес посівів пшениці озимої, ячменю ярого, гороху посівного, соняшнику щодо реалізації біологічного потенціалу врожайності та якості насіннєвого матеріалу через використання антистресових технологій вирощування.

Методи досліджень: У процесі виконання роботи застосовували спеціальні та загальнонаукові методи досліджень.

Серед спеціальних методів використовували: 1) польовий метод – встановлення взаємодії об'єкта дослідження з біотичними і абіотичними факторами в умовах досліджуваної зони; 2) лабораторні методи: а) хімічні – визначення хімічного складу вегетативної маси рослин і насіння; б) морфофізіологічні – визначення біометричних параметрів рослини; в) фізичні – визначення показників фізичної якості насіння; г) біохімічні методи – визначення вмісту хлорофілу, каротиноїдів та ін.; 3) статистичні методи: дисперсійний, регресійний, кластерний аналізи – підготовка експериментальних даних до аналізу, визначення вірогідності даних, виявлення залежностей між досліджуваними показниками, математичне обґрунтування моделей агрофітоценозів; 4) порівняльно-розрахунковий – визначення економічної та енергетичної ефективності технологій вирощування.

В результаті проведених досліджень:

В ході виконання розділу 1.1.1. було виявленні основних агрометеорологічних факторів, які пояснюють зміну врожайності пшениці озимої в умовах Південного Степу України та побудові математичної моделі урожайності культури на основі виявлених стресових чинників.

Було показано, що суттєвий вплив на формування врожайності пшениці озимої в умовах Південного Степу України мають погодні умови в період вегетації рослин. Частка їх впливу значно перевищує вплив агротехнічних елементів технології вирощування і сягає майже 61%.

Проведеним кореляційним аналізом щодо впливу погодних факторів було встановлено середній (помітний) та високий лінійний кореляційний зв'язок між 18 погодними факторами та урожайністю пшениці озимої в діапазоні значень коефіцієнту кореляції від -0,79 до 0,82.

На основі проведеного регресійного аналізу було досліджено ефект мультиколінеарності між факторами, проаналізовано значимість впливу кожного фактора окремо та побудовано лінійну регресійну модель. Побудована модель прогнозування врожайності зерна пшениці озимої може стати ефективним інструментом для прийняття адекватних рішень щодо планування заходів по реалізації чи зберіганню отриманого врожаю.

В Розділі 1.2.1. показано вивчення впливу передпосівної обробки насіння соняшнику регулятором росту рослин АКМ і фунгіциду Дерозал на підвищення його продуктивності і якість урожаю в умовах Південного Степу України.

Показано, що найбільший ефект дає варіант досліду з сумісним використанням для передпосівної обробки насіння соняшнику регулятора росту рослин АКМ і фунгіциду Дерозал. При цьому збільшується загальна фітомаса, покращуються урожайні і якісні властивості соняшнику сорту Чумак.

В Розділі 1.2.2. представлено результати визначення впливу РРР АКМ+Са на формування площі листової поверхні соняшнику у зоні Південного Степу України.

Встановлено, що для підвищення адаптаційних властивостей під час проростання насіння необхідно проводити інкрустацію насіння регулятором росту АКМ із додаванням кальцію, а для збільшення площі листової поверхні соняшнику необхідно провести додаткове обприскування рослин даним препаратом.

В розділі 1.3.1. встановлено, що за умов водного дефіциту кількість ТБЛАП зростала у пророслому насінні кукурудзи в 1,9 раза, колеоптилях - в 1,4 раза, а в коренях - в 1,9 раза. Вміст проліну зростав у 9,2 рази в колеоптилях і в 6,0 разів у 7-денних коренях кукурудзи за обробки ПЕГ-1500 (200 г/л⁻¹). Спостерігалось також підвищення активності каталази (КАТ), амінотрансфераз (АЛТ, АСТ) відповідно до величини осмотичного потенціалу. Помітний розвиток окислювальної реакції кукурудзи був пов'язаний зі значним зменшенням сходів, сирової маси та довжини рослин, що зазнали водного стресу. Ці результати дозволяють припустити, що адаптивна стратегія кукурудзи до осмотичного стресу під час проростання полягала в активації процесів ПОЛ та антиоксидантних компонентів. Отримані дані можуть бути корисними для корекції стресового стану кукурудзи за допомогою осмотично активних регуляторів.

Публікації. За результатами наукових досліджень опубліковано 14 наукових роботи, з них 3 статті у наукових фахових виданнях України та виданнях індексованих в наукометричній базі Скопус.

Ключові слова: *пшениця озима, соняшник, кукурудза, погодні фактори, водний дефіцит, фотосинтетична діяльність, ріст та розвиток рослин, урожайність регулятор росту рослин, біостимулятор, протруювач, мінеральне живлення.*

Тематика підпрограми 1 «Обґрунтування антистресових прийомів у ресурсозберігаючих технологіях вирощування зернових, зернобобових і олійних культур у Степовій зоні України»

№ п/п	Назва теми, етапу	Керівник теми, виконавці
1.1	Обґрунтування та розробка нових та вдосконалення існуючих технологій вирощування зернових культур	Білоусова З.В. Кенева В. А. Нежнова Н.Г. Степанова К.С.
1.2	Вдосконалення ресурсозберігаючих технологій вирощування олійних культур	Покопцева Л. А. Онищенко О.В. Веренчук А.О.
1.3	Вдосконалення технології вирощування зернобобових культур	Колесніков М.О. Капінос М.В. Пашенко Ю.П.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	3
Тема 1.1. Обґрунтування та розробка нових та вдосконалення існуючих технологій вирощування зернових культур	7
Розділ 1.1.1. Прогнозування урожайності пшениці озимої (<i>Triticum aestivum</i> L.) із використанням метеорологічних показників для Південного Степу України	7
Тема 1.2. Вдосконалення ресурсозберігаючих технологій вирощування олійних культур	23
Розділ 1.2.1. Формування продуктивності соняшнику у Південному Степу України за дії передпосівної обробки	23
Розділ 1.2.2 Динаміка формування площі листової поверхні соняшнику залежно від обробки регулятором росту АКМ з додаванням кальцію у зоні Південного Степу України	27
Тема 1.3. Вдосконалення технології вирощування зернобобових культур...	31
Розділ 1.3.1. Вплив водного дефіциту на насіння кукурудзи (<i>Zea mays</i> L.) під час проростання.....	31

Тема 1.1. Обґрунтування та розробка нових та вдосконалення існуючих технологій вирощування зернових культур

Розділ 1.1.1. Прогнозування урожайності пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) із використанням метеорологічних показників для Південного Степу України

Керівник теми
Виконавці

З.В. Білоусова
Кенева В. А.
Нежнова Н.Г.

Зростання чисельності населення планети та збільшення споживання продуктів харчування ставлять перед сільським господарством, зокрема і рослинництвом, підвищені вимоги щодо забезпечення продовольчої безпеки (Foley et al., 2011). За свідченнями Godfray et al. (2010) прогнозується, що до 2050 року попит на сільськогосподарську продукцію збільшиться майже вдвічі, що потребує відповідного підвищення валового виробництва зерна. Аналітики ФАО виділяють три основних джерела збільшення продукції рослинництва – це зростання кількості посівних площ, запровадження зрошення та підвищення урожайності основних сільськогосподарських культур (World agriculture, 2002). Однак існує думка, що більшість країн світу вже досягли свого максимуму по всім із вказаних джерел. Враховуючи, що галузь рослинництва вкрай чутлива до мінливих факторів зовнішнього середовища, прогнозується, що вже до 2030 року внаслідок змін клімату, які спостерігаються за останні десятиріччя, в більшості країн світу відбуватиметься зниження врожайності сільськогосподарських культур (Finger, 2010).

Очікується, що зміни клімату матимуть значний вплив на природні ресурси, світову економіку та здоров'я населення планети. Згідно п'ятої оціночної доповіді Міжурядової групи експертів по змінам клімату (Raschani et al., 2014), температура біля поверхні Землі з кожним наступним десятиріччям зростає, а характер опадів стає все більш непередбачуваним – тривалі посухи змінюються рясними зливами. Висуваються припущення, що такі зміни будуть лише посилюватися протягом найближчих років, що відповідним чином вплине на розвиток всіх галузей народного господарства, зокрема і сільського господарства, яке є стратегічною і найбільш ефективною галуззю економіки України. В першу чергу ці зміни вплинуть на ріст та розвиток сільськогосподарських культур, вирощування яких є основою формування продовольчої безпеки країни. Мінливість характеру погодних умов впливає на проходження процесу фотосинтезу та на дотримання його балансу із диханням рослин, пришвидшує проходження міжфазних періодів, а відповідно і самої вегетації сільськогосподарських культур, знижує ефективність використання вологи посівами, призводить до пошкодження рослин внаслідок порушення клітинних структур і метаболічних процесів (Gourdjji, Sibley & Lobell, 2013; Rezaei, Webber, Gaiser, Naab & Ewert, 2015;

Webber et al., 2016). Все це ускладнює отримання високих сталих врожаїв провідних культур і потребує більш детального вивчення впливу окремих погодних факторів на величину врожаю.

В структурі посівних площ сільськогосподарських культур України найбільшу частку займають зернові (понад 50%), причому понад 40% з них припадає на пшеницю озиму (за даними департаменту статистики сільського господарства та навколишнього середовища України). Щорічно загальна площа пшениці озимої коливається в межах 6,0-6,7 млн. га залежно від умов, які складаються на момент посіву. Степова зона України є важливим регіоном вирощування культури, на частку якої припадає понад 50% посівних площ та понад 45% валового виробництва зерна країни. Природно-кліматичні умови та родючі ґрунти зони сприяють вирощуванню пшениці озимої і дозволяють отримувати високоякісне продовольче зерно в обсягах, достатніх для забезпечення як внутрішніх потреб, так і формування експортного потенціалу держави. Водночас саме південь України відноситься до зони ризикованого землеробства, яка найбільше піддається впливу стресових факторів зовнішнього середовища (Adamenko, 2014).

Протягом своєї вегетації пшениця озима перебуває під впливом багатьох екологічних факторів абіотичної, біотичної та антропогенної природи. Серед факторів неживої природи найбільш суттєву дію на ріст та розвиток сільськогосподарських культур мають температура, вологість та освітленість території. За даними Всесвітньої метеорологічної організації (State of Climate Services, 2019), опади визначають 75% мінливості урожайності пшениці в Індії, від 36 до 80% – у преріях США, від 36 до 62% – у преріях Канади (провінція Саскачеван). Дослідженнями Lesk, Rowhani & Ramankutty (2016) встановлено, що засухи і висока температура в період 1964-2007 років призвели до зниження урожайності на 9-10%. Дефіцит вологи у ґрунті під час проростання насіння і з'явлення сходів завдає великої шкоди майбутнім посівам, знижуючи густоту стеблостою, в період куціння – загальну, а в подальшому і продуктивну куцистість, в період колосіння-цвітіння – озерненість колоса, а при наливі зерна – масу 1000 зерен. Особливо шкідливий вплив екстремальних кліматичних змін в репродуктивний період розвитку рослин (Deryng, Conway, Ramankutty, Price & Warren, 2014).

Прогнозування урожайності сільськогосподарських культур, зокрема і пшениці озимої, набуває все більшого значення з метою передбачення валового виробництва зерна, забезпечення продовольчої безпеки держави та оптимізації методів керування сільськогосподарськими угіддями (Lecerf, Ceglar, López-Lozano, van Der Velde & Varuth, 2019).

Моніторинг та прогноз урожайності може бути здійснений із використанням різноманітних джерел інформації, які можуть включати безпосередні спостереження за ростовими процесами культури в полі (Bolton & Friedl, 2013), метеорологічні дані за період вегетації досліджуваної культури (Lobell, Nicholas & Field, 2006; Iizumi, Shin, Kim, Kim & Choi, 2018), використання вегетаційних індексів NDVI (Petersen, 2018), біофізичного параметру (FAPAR) (López-Lozano et al., 2015) тощо. Наприклад, Об'єднаний

дослідний центр (JRC) Європейської комісії (Van den Berg & Baruth, 2020), починаючи з 1993 року, забезпечує своєчасне прогнозування урожайності сільськогосподарських культур для країн-членів Європейського союзу за допомогою системи MARS-Crop (MCYFS) (Van der Velde & Nisini, 2019). Окрім того дана система дозволяє оцінити вплив змін клімату на сільськогосподарське виробництво за рахунок моделювання різних кліматичних сценаріїв за допомогою програми Biophysical Models Applications (BioMA) (Shrestha, Ciaian, Himics, & Van Doorslaer, 2013).

Широкого поширення набула також імітаційна модель WOFOST, яка розраховує щоденне накопичення біомаси культурами на основі температурних даних, тривалості світлового дня, сонячної радіації і генетичних характеристик культури (Boogaard, Wolf, Supitc, Niemeijer, & Van Ittersum, 2013). Науковцями США була розроблена інша модель прогнозування урожайності сільськогосподарських культур – EPIC (Balkovič et al., 2013), яка базується на застосуванні інформації щодо ґрунтово-кліматичних умов регіону та ефективності поглинання рослинами ФАР.

Враховуючи той факт, що для більшості країн світу на даний час все ще обмежений доступ до вищенаведених систем прогнозування, активно використовується статистичне моделювання на основі побудови багатовимірних регресійних моделей (Parviz, & Paymai, 2017; Panwar et al., 2018).

Мета дослідження

Мета даного дослідження полягала у виявленні основних агрометеорологічних факторів, які пояснюють зміну врожайності пшениці озимої в умовах Південного Степу України та побудові математичної моделі урожайності культури на основі виявлених стресових чинників.

Об’єкт дослідження – особливості формування урожайності пшениці озимої залежно від агрометеорологічних факторів.

Предмет дослідження – урожайність, температура (мінімальна, середня, максимальна), сума активних температур, сума опадів, відносна вологість повітря (мінімальна, середня), гідротермічний коефіцієнт (ГТК) та коефіцієнт зволоження (КЗ).

Матеріали і методи дослідження

Основним матеріалом для опрацювання послужили річні звіти відділу агропромислового розвитку Мелітопольської райдержадміністрації Запорізької області щодо урожайності пшениці озимої, дані Державної статистичної служби України (www.ukrstat.gov.ua) за період з 2011 по 2019 рік та метеорологічні дані метеостанції міста Мелітополь за 2010-2019 роки.

Досліджували урожайність зерна пшениці озимої сорту Шестопалівка, вирощеного в агропідприємствах Мелітопольського району за однаковою технологією, загальноприйнятою для зони Південного Степу України. Попередниками щорічно виступали чорний пар, вико-вівсяна суміш (зайнятий

пар), горох, пшениця озима та соняшник, що дало можливість ідентифікувати особливості реакції досліджуваної культури як на погодні умови періоду вегетації, так і агротехнічні фактори технології вирощування.

Для досягнення поставленої мети було проведено кореляційний та регресійний аналізи: розрахована міцність кореляційних зв'язків між агрокліматичними показниками та врожайністю культури; визначено комплекс погодних факторів, що мають суттєвий вплив на врожайність пшениці озимої; встановлено модель залежності врожайності пшениці озимої від погодних умов, що склалися в Запорізькій області у 2010-2019 рр.; отримано рівняння регресії, яке можна використовувати для побудови статистичних прогнозів.

Серед погодних факторів було досліджено: температура (мінімальна, середня, максимальна), сума активних температур, сума опадів, відносна вологість повітря (мінімальна, середня), гідротермічний коефіцієнт (ГТК) та коефіцієнт зволоження (КЗ).

Гідротермічний коефіцієнт розраховували за методикою Г.Т. Селянинова за формулою:

$$\text{ГТК} = \frac{R \times 10}{\sum t}$$

де R – сума опадів за період з температурами повітря вище $+10^{\circ}\text{C}$, мм;

$\sum t$ – сума температур повітря вище $+10^{\circ}\text{C}$ за той самий період, $^{\circ}\text{C}$.

Коефіцієнт зволоження за Н.М. Івановим визначали за формулою:

$$\text{КЗ} = \frac{R}{E}$$

де R – сума опадів за період, мм;

E – випаровуваність за той самий період, мм.

Випаровуваність розраховували за модифікованою емпіричною формулою (Kolpakov & Sukharev, 1988):

$$E = 0,0018 \times (25 + t)^2 \times (100 - \alpha)$$

де t – середня температура повітря за певний період, $^{\circ}\text{C}$;

α – середня вологість повітря за той самий період, %.

Для побудови моделі залежності врожайності пшениці озимої від погодних факторів було використано функцію лінійної залежності (Pearson, 1901):

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$$

де y – урожайність пшениці озимої, т/га;

a_0, a_1, a_2, a_n – коефіцієнти лінійної регресії.

x_1, x_2, x_n – погодні фактори.

Для статистичної оцінки побудованої моделі було розраховано коефіцієнт множинної кореляції, коефіцієнт детермінації, скоригований коефіцієнт детермінації, t -критерій та F -критерій, встановлено рівень значущості та стандартну похибку оцінки. Статистичну обробку даних було виконано за допомогою комп'ютерних програм Microsoft Office Excel та Gretl.

Результати досліджень

На сьогодні Україна займає сьоме місце в світі за виробництвом зерна пшениці озимої – її вклад у загальносвітове валове виробництво становить майже 4% (Grain: world markets and trade, 2020). Середня врожайність зерна в світі сягає приблизно 3,1 т/га, а в розвинених європейських країнах – в межах 5,6 т/га. Що стосується України, то середня врожайність за останні десять років знаходиться в межах 3,73 т/га (рис.1.1.1), що відповідає світовим значенням, але суттєво відстає від європейського рівня.

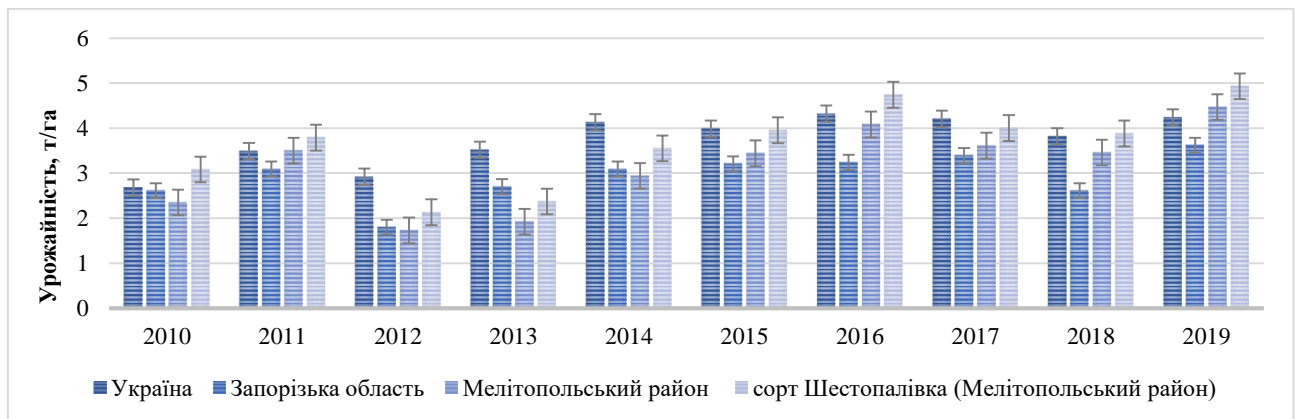


Рисунок 1.1.1 Коливання урожайності пшениці озимої по рокам.

Щодо Запорізької області та Мелітопольського району, то середня врожайність за вказаний період становила 2,94 та 3,15 т/га відповідно. Причому кореляційним аналізом було встановлено сильну залежність між величиною врожайності у вказаних регіонах та середньою по Україні ($r = 0,79$). Тобто аналіз врожайності пшениці озимої по рокам в умовах Мелітопольського району буде досить повно відображати її загальну тенденцію по Україні.

Враховуючи, що лідером за посівними площами в Мелітопольському районі (22-53% від загальної посівної площі) є сорт Шестопалівка (Bilousova, 2018), урожайність якого дуже сильно корелює із середньою по району ($r = 0,99$) та в цілому по Україні ($r = 0,77$), то для оцінки впливу метеорологічних чинників на врожайність пшениці озимої та її подальшого прогнозування було використано динаміку зміни врожайності саме цього сорту.

В останні роки більшість агропідприємств Півдня України почало використовувати енергоощадну технологію вирощування пшениці озимої, яка є найбільш прийнятною за стресових умов регіону. За таких технологій особливого значення набуває сівозміна, оскільки правильний добір попередників дозволяє знизити застосування пестицидів за рахунок поліпшення фітосанітарного стану посівів (Ekström, & Ekbo, 2011). Основними попередниками пшениці озимої в Південному Степу України на сьогоднішній день є чорний пар, зайнятий пар, горох, повторні посіви пшениці та соняшник (табл.1.1.1).

Таблиця 1.1.1

Урожайність пшениці озимої сорту Шестопалівка залежно від впливу
попередника, т/га

Попередник	Рік урожаю										Середн є по рокам
	2010 р.	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2014 р.	2015 р.	2016 р.	2017 р.	2018 р.	2019 р.	
чорний пар	3,31	4,47	3,46	3,67	3,96	4,42	5,42	4,94	4,25	5,31	4,32
зайнятий пар	3,57	4,04	1,72	2,39	4,67	4,47	5,21	3,50	4,99	5,30	3,99
горох	3,23	3,33	2,80	2,88	4,03	4,22	5,08	4,20	3,98	5,02	3,88
пшениця озима	2,89	3,54	1,22	1,39	2,78	3,40	3,65	2,54	2,67	4,85	2,89
соняшник	2,39	3,59	1,43	1,51	2,33	3,25	4,33	3,30	3,53	4,15	2,98
Середнє по попередника м	3,08	3,79	2,13	2,37	3,55	3,95	4,74	3,70	3,88	4,93	3,61
<i>НІР₀₅ для фактора рік 0,40, для фактора попередник 0,57</i>											

Отримані результати показують, що високу врожайність (на рівні середньосвітової) в умовах дослідного регіону забезпечують лише парові попередники та горох. Щодо таких попередників, як повторні посіви пшениці та соняшник, то для них було встановлено таку закономірність, що за сприятливих погодних умов протягом вегетації (2011 та 2015-2019 роки) урожайність по таким попередникам знижувалась на 20-30%, порівняно з паровими, а за стресових умов (2012-2013 роки) – на 60-65%. Тобто, окрім агротехнічних факторів технології вирощування, в досліджуваному регіоні суттєвого впливу набувають погодні умови в період вегетації пшениці озимої, що і підтверджується статистичною обробкою отриманих результатів (рис.1.1.2). Подібні дані були отримані й в інших наших дослідженнях (Кліракова & Вілоусова, 2018).

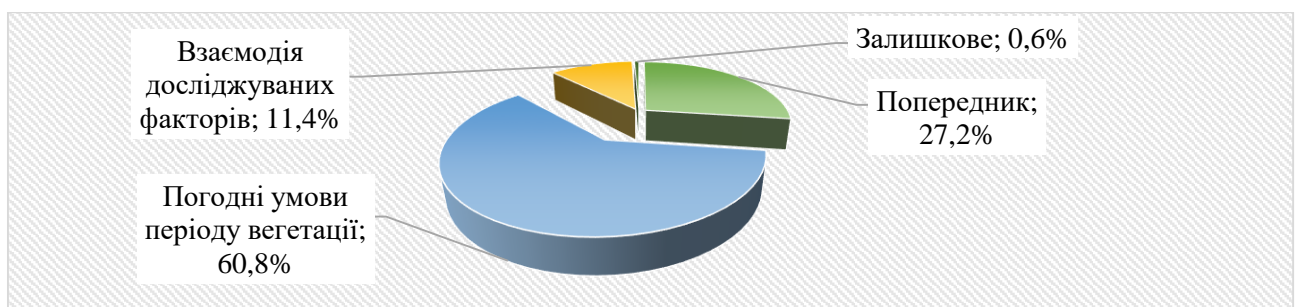


Рисунок 1.1.2. Частка впливу досліджуваних факторів на врожайність пшениці озимої сорту Шестопалівка.

Для виявлення погодних факторів, які мають суттєвий вплив на формування врожайності пшениці озимої було проведено кореляційний аналіз. Серед усіх досліджуваних параметрів для 18 було встановлено середню (помітну) та високу лінійну кореляційну залежність згідно із шкалою Чеддока (Sobolev, & Babichenko, 2013) (табл.1.1.2).

Таблиця 1.1.2

Результати кореляційного аналізу впливу погодних факторів на урожайність пшениці озимої, 2010-2019 рр.

Показник	Коефіцієнт кореляції	Показник	Коефіцієнт кореляції	Показник	Коефіцієнт кореляції
Сума опадів за серпень	-0,61	Середня t за серпень	0,63	Середня із t_{\min} за березень	0,53
Сума опадів за листопад	0,67	Середня t за травень	-0,69	Середня із t_{\min} за травень	-0,62
Сума опадів за квітень	0,51	КЗ липня	0,82	Середня із t_{\max}^{***} за липень	-0,60
ГТК у квітні	0,58	КЗ серпня	-0,76	Середня із t_{\max} за серпень	0,67
ВВП у серпні	-0,79	КЗ листопада	0,57	Середня із t_{\max} за лютий	0,54
Середня t^* за липень	-0,66	Середня із t_{\min}^{**} за серпень	0,57	Середня із t_{\max} за травень	-0,69

Примітка. *t – температура повітря

** t_{\min} – мінімальна температура повітря

*** t_{\max} – максимальна температура повітря

Враховуючи, що показники суми опадів, температури та відносної вологості повітря є складовими частинами при розрахунку коефіцієнту зволоження (КЗ) та гідротермічного коефіцієнту (ГТК), то з подальшої оцінки було виключено такі показники, як середня та середня із максимальних температур повітря за липень; сума опадів за серпень, середня та середня із максимальних та мінімальних температур повітря за серпень, середня відносна вологість повітря у серпні; сума опадів за квітень; середня із мінімальних та максимальних температур за травень та коефіцієнт зволоження листопада, які мають меншу силу впливу на врожайність пшениці озимої, порівняно із комплексним показником за відповідний місяць.

Проведений аналіз показує, що в допосівний період на формування майбутнього врожаю найбільш суттєвий вплив мають коефіцієнти зволоження липня і серпня (рис.1.1.3). Тобто, співвідношення опадів і випаровуваності, яке

відображає коефіцієнт зволоження, впливає на природні екосистеми більше, ніж абсолютна кількість опадів сама по собі.

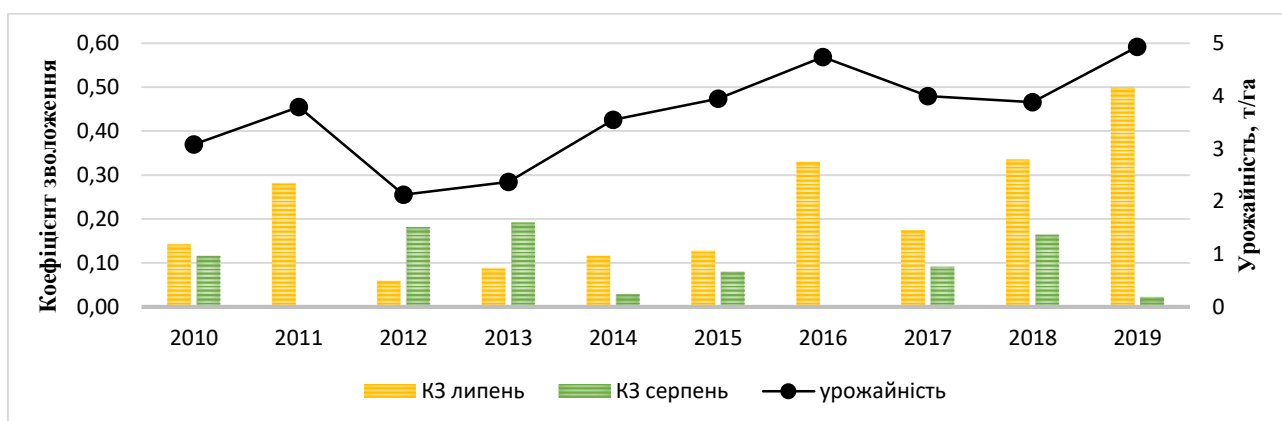


Рисунок 1.1.3. Урожайність пшениці озимої сорту Шестопалівка та коефіцієнт зволоження за липень і серпень.

Як видно із даних рис.3, найбільша врожайність пшениці озимої була відмічена в 2016 та 2019 роках на рівні 4,74 та 4,93 т/га відповідно, що співпадає із найвищими значеннями КЗ в липні (0,33-0,50) та найнижчими в серпні (0,00-0,02). Найменша врожайність за досліджуваний період була відмічена в 2012 та 2013 роках (2,13 та 2,37 т/га відповідно), коли і спостерігалися найнижчі значення КЗ в липні (0,06-0,09) та найвищі в серпні (0,18-0,19).

Слід відмітити, що за величиною КЗ в другій половині літа досліджуваний регіон характеризується бідним зволоженням, за виключенням липня 2019 року (недостатнє зволоження), що є однією із причин недобору врожаїв в зоні Південного Степу України.

В осінній період розвитку рослин пшениці озимої найбільш суттєвий вплив мала кількість опадів за листопад (рис.4), на який в умовах досліджуваного регіону припадає період загартування рослин перед перезимівлею.

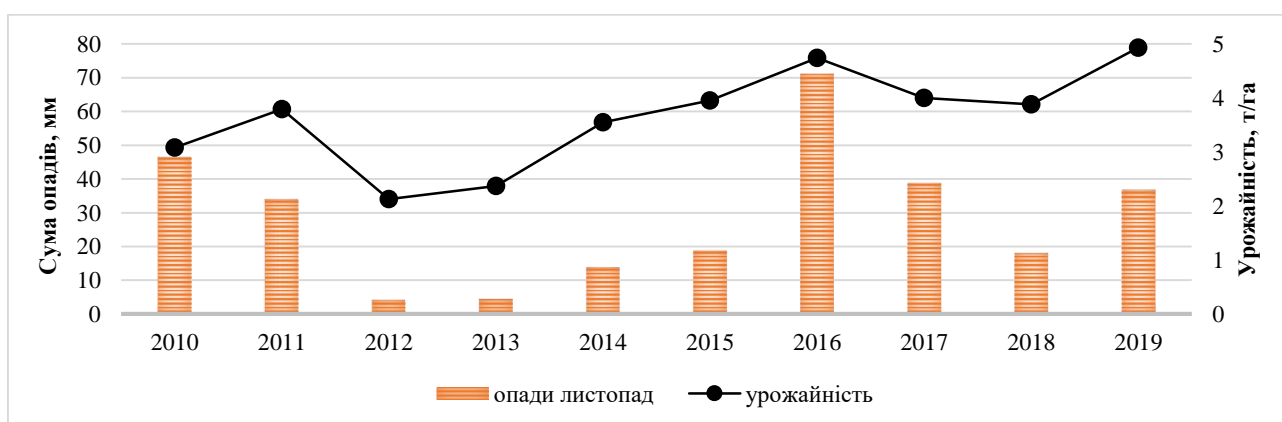


Рисунок 1.1.4. Урожайність пшениці озимої сорту Шестопалівка та сума опадів за листопад.

Найбільшу кількість опадів за вказаний місяць було зафіксовано в 2016 році – 71,1 мм, що майже в два рази більше за середньобогаторічну норму і співпадає з однією із найбільших величин урожайності пшениці озимої. Аналіз даних вказує на те, що ріст суми опадів за листопад супроводжується збільшенням урожайності пшениці. Загалом для формування урожайності понад 3,8 т/га кількість опадів за листопад повинна перевищувати 34 мм.

В період відновлення вегетації пшениці озимої, яка в досліджуваному регіоні за останні 10 років припадала на період з 5 березня по 1 квітня, значний вплив на регенерацію рослин після перезимівлі мали середня із максимальних температур за лютий та середня із мінімальних температур за березень (рис.1.1.5). Саме на цей період припадають II-III етапи органогенезу, що супроводжуються закладанням осей другого порядку та диференціацією осі колоса на членики колосового стрижня, тобто відбувається активне формування зачатків майбутнього колосу.

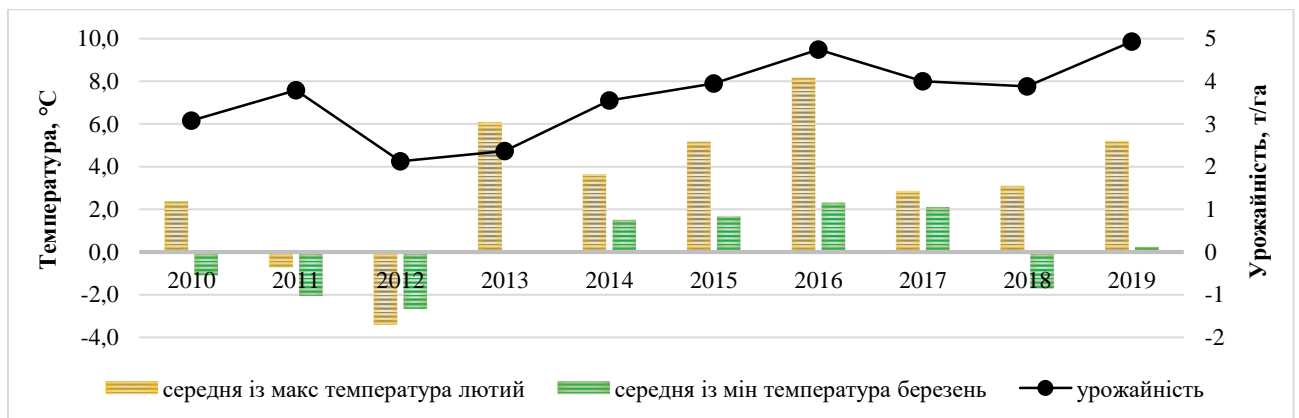


Рисунок 1.1.5. Урожайність пшениці озимої сорту Шестопалівка та середня із максимальних температур за лютий і середня із мінімальних температур за березень.

Оцінка термічних ресурсів за період лютий-березень показує, що високі у межах років показники урожайності можна отримати за відсутності тривалих періодів мінусових температур у лютому та її різких коливань у березні місяці, що дає можливість рослинам активно засвоювати ті елементи живлення, які вносяться в перше регенеративне підживлення.

У весняний період розвитку велике значення при формуванні врожаю досліджуваної культури мають гідротермічні умови квітня (рис.1.1.6) та середня температура за травень (рис.8), оскільки саме на цей період припадають фази активного наростання вегетативної маси та перехід від вегетативного до репродуктивного розвитку рослин. На цей період припадає процес формування і дозрівання всіх органів колоса, запилення і запліднення зернівки.

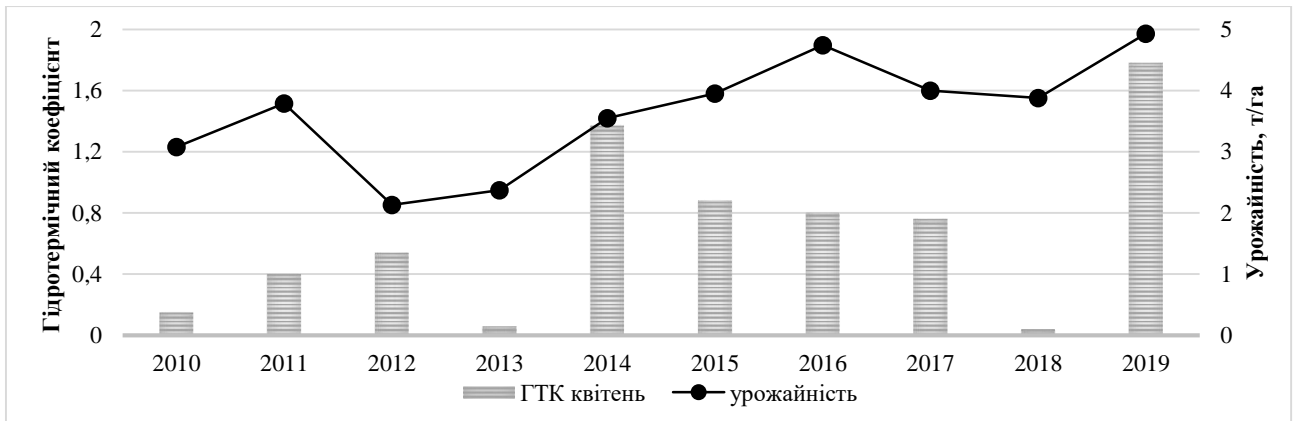


Рисунок 1.1.6. Урожайність пшениці озимої сорту Шестопалівка та гідротермічний коефіцієнт квітня.

Аналіз узагальненої характеристики тепло- і вологозабезпеченості квітня показав, що для отримання урожайності пшениці озимої на рівні 3,55-4,74 т/га значення ГТК повинно бути в межах від 0,8 (слабка посуха) до 1,4 (достатнє вологозабезпечення). Для подальшого зростання врожайності (до 5,0 т/га), гідротермічні умови квітня повинні характеризуватися як надмірно зволожені (ГТК = 1,8).

Високі температури в травні (рис.1.1.7) негативно позначаються на продуктивності рослин за рахунок зниження інтенсивності ростових процесів, передчасного відмирання нижніх ярусів листків та скорочення міжфазних періодів колосіння – цвітіння – досягання зерна. Високі температури у фазу колосіння спричиняють пошкодження квіток у колосі, в результаті чого при настанні наступних фаз розвитку колос дуже швидко засихає і біліє – так зване явище білоколосиці. Дія високої температури в період цвітіння спричиняє стерильність квіток і обпадання зав'язей, що призводить до череззерниці колоса.

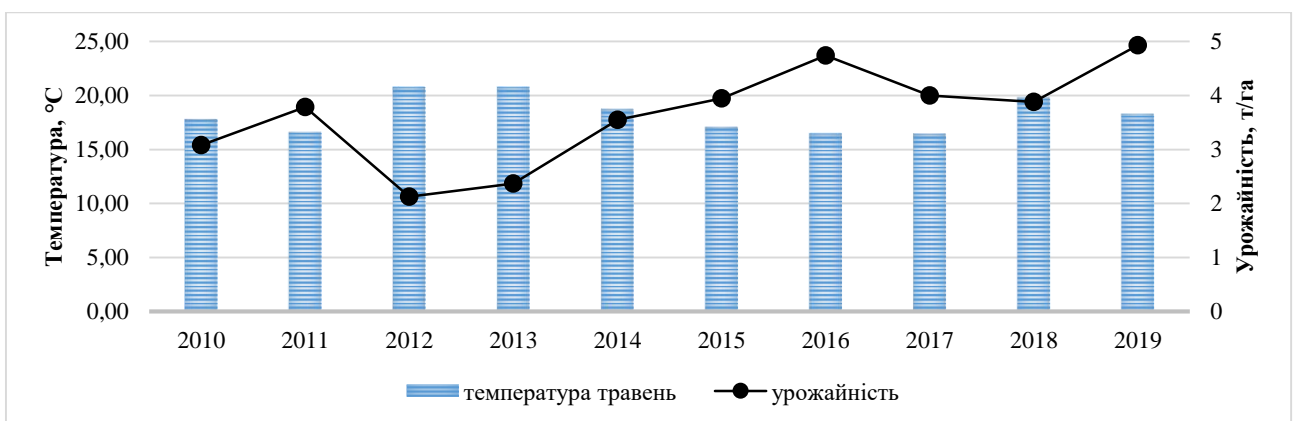


Рисунок 1.1.7. Урожайність пшениці озимої та середня температура за травень.

Аналіз температурного режиму травня за період з 2010 по 2019 рік показав, що найбільш комфортні умови для росту і розвитку рослин пшениці озимої в репродуктивний період складаються за середньодобової температури травня на рівні 16,4-19,8°C.

Загалом проведений аналіз підтверджує суттєвий вплив обраних параметрів на величину врожаю пшениці озимої сорту Шестопалівка.

Для виявлення сумісної дії досліджуваних факторів було проведено множинний кореляційний аналіз та побудована матриця парних коефіцієнтів кореляції (табл.1.1.3).

Таблиця 1.1.3

Кореляційна матриця, N = 50

	y	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇
y	1,0	0,82	-0,76	0,67	0,54	0,53	0,58	-0,69
x ₁	0,82	1,0	-0,52	0,52	0,33	0,05	0,39	-0,31
x ₂	-0,76	-0,52	1,0	-0,63	-0,27	-0,45	-0,64	0,77
x ₃	0,67	0,52	-0,63	1,0	0,40	0,40	0,16	-0,77
x ₄	0,54	0,33	-0,27	0,40	1,0	0,75	0,24	-0,25
x ₅	0,53	0,05	-0,45	0,40	0,75	1,0	0,50	-0,53
x ₆	0,58	0,39	-0,64	0,16	0,24	0,50	1,0	-0,28
x ₇	-0,69	-0,31	0,77	-0,77	-0,25	-0,53	-0,28	1,0

де y – урожайність пшениці озимої, т/га;

x₁ – коефіцієнт зволоження в липні;

x₂ – коефіцієнт зволоження в серпні;

x₃ – сума опадів за листопад, мм

x₄ – середня із максимальних температур повітря за лютий, °С;

x₅ – середня із мінімальних температур повітря за березень, °С;

x₆ – ГТК за квітень;

x₇ – середня температура повітря за травень, °С.

В подальшому для виділених факторів було проведено множинний регресійний аналіз, за результатами якого було отримано наступне рівняння залежності урожайності пшениці озимої (y) від погодних умов періоду вегетації:

$$y = 6,3258 + 4,9618 x_1 + 0,0234 x_2 - 0,0062 x_3 - 0,0124 x_4 + 0,1930 x_5 + 0,0230 x_6 - 0,1946 x_7$$

Основні показники множинної регресії з відібраними факторами наступні: коефіцієнт множинної кореляції $R = 0,9873$; коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,9748$; скоригований коефіцієнт детермінації $R^{2*} = 0,8868$; стандартна похибка оцінки $S = 0,3050$; значення критерію Фішера $F(7,2) = 11,0694$ при $F_t = 4,74$; рівень значущості $p < 0,0853$, критерій Шварца = 6,9568, критерій Акаїке = 4,5361, критерій Хеннона-Куїнна = 1,8806.

Незважаючи на високі значення коефіцієнтів множинної кореляції та детермінації, частина коефіцієнтів наведеного вище рівняння є статистично не значущими ($t_{розр} < t_{табл}$). Це означає, що описана залежність урожайності

пшениці озимої від погодних факторів може бути основою для прийняття деяких управлінських рішень, але отримане рівняння регресії не можна використовувати для точного прогнозування урожайності культури. Рівняння зв'язку визнається моделлю і може бути використано з метою прогнозування, якщо статистично значимими є як окремі параметри, так і рівняння в цілому, тому нами було проведено обґрунтований відбір факторів для включення у рівняння.

Подальшим аналізом отримане рівняння було оцінено на наявність ефекту мультиколінеарності, оскільки включення до моделі мультиколінеарних факторів призводить до нестійкості оцінки. Чим сильніше мультиколінеарність факторів, тим менш надійна оцінка розподілу суми поясненої варіації за окремими факторами за допомогою методу найменших квадратів. Умовно визначити рівень мультиколінеарності можна за допомогою дисперсійно-інфляційного фактору (VIF) (Akinwande, Dikko, & Samson, 2015) (табл.1.1.4).

Таблиця 1.1.4

Результати тесту на колінеарність методом інфляційних факторів

Фактори	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇
VIF	4,287	6,781	3,697	8,415	14,723	6,415	9,251

Як бачимо, значення критерію VIF для x₅ (середня із мінімальних температур повітря за березень) більше 10, що свідчить про наявність ефекту мультиколінеарності. Тому для подальшого підбору регресорів було проведено поступове виключення надлишкових змінних. Таким чином із моделі було виключено такі фактори, як коефіцієнт зволоження в серпні (x₂), сума опадів за листопад (x₃), середня із максимальних температур повітря за лютий (x₄) та ГТК за квітень (x₆). В результаті для прогнозування урожайності пшениці озимої, після виключення колінеарних та статистично незначимих факторів, було отримано модель:

$$y = 5,4349 + 4,5845 x_1 + 0,1729 x_5 - 0,1524 x_7$$

Основні показники множинної регресії із залишеними факторами наступні: коефіцієнт множинної кореляції R = 0,9824; коефіцієнт детермінації R² = 0,9651; скоригований коефіцієнт детермінації R^{2*} = 0,94766; стандартна похибка оцінки S = 0,2075; значення критерію Фішера F (3,6) = 55,2578 при F_т = 8,94; рівень значущості p < 0,00009, критерій Шварца = 1,0265, критерій Акаїке = -0,1838, критерій Хеннона-Куїнна = -1,5115.

Як видно із отриманих даних, модель після виключення надлишкових змінних має більший скорегований коефіцієнт детермінації, менші значення інформаційних критеріїв Шварца, Акаїке та Хеннона-Куїнна. Регресори x₁ та x₅ значимі на 99% рівні, а x₇ – на 95% рівні значущості. Отримана регресійна модель узгоджується із результатами досліджень інших вчених (Argha, & Ahmed, 2019) і за своєю точністю не поступається іншим моделям, отриманим на основі даних NDVI (Kogan et al., 2013).

ВИСНОВКИ:

Проведеними дослідженнями було встановлено, що суттєвий вплив на формування врожайності пшениці озимої в умовах Південного Степу України мають погодні умови в період вегетації рослин. Частка їх впливу значно перевищує вплив агротехнічних елементів технології вирощування і сягає майже 61%.

Проведеним кореляційним аналізом щодо впливу погодних факторів було встановлено середній (помітний) та високий лінійний кореляційний зв'язок між 18 погодними факторами та урожайністю пшениці озимої в діапазоні значень коефіцієнту кореляції від -0,79 до 0,82.

При вирощуванні пшениці озимої в нестабільних кліматичних умовах зони Південного Степу України основними факторами, що визначають її урожайність є коефіцієнт зволоження в липні, коефіцієнт зволоження в серпні, сума опадів за листопад, середня із максимальних температур повітря за лютий, середня із мінімальних температур повітря за березень, гідротермічний коефіцієнт квітня і середня температура повітря за травень. На основі проведеного регресійного аналізу було досліджено ефект мультиколінеарності між факторами, проаналізовано значимість впливу кожного фактора окремо та побудовано лінійну регресійну модель. Побудована модель прогнозування врожайності зерна пшениці озимої може стати ефективним інструментом для прийняття адекватних рішень щодо планування заходів по реалізації чи зберіганню отриманого врожаю.

Література

1. Adamenko, T.I. (2014). *Ahroklimatychne zonuvannia terytorii Ukrainy z vrakhuvanniam zminy klimatu* [Agroclimatic zoning of the territory of Ukraine taking into account climate change]. Bila Tserkva, Ukraine: TOV «RIA»BLITs (in Ukrainian).
2. Akinwande, MO, Dikko, HG & Samson, A (2015) Variance Inflation Factor: As a Condition for the Inclusion of Suppressor Variable(s) in Regression Analysis. *Open Journal of Statistics*, 5, 754-767. DOI: 10.4236/ojs.2015.57075
3. Argha, G. & Ahmed, KS (2019) Study on the Interactions Between Lathyrus (*Lathyrus sativus* L.) and Agro-climatic Factors to Generate Weather Based Yield Forecasting Models. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 10(2), 157-165. DOI: 10.23910/IJBSM/2019.10.2.1971
4. Balkovičac, J., Van der Velde, M., Schmid, E., Skalský, R., Khabarov, N., Obersteiner, M., ... Xiong, W. (2013) Pan-European crop modelling with EPIC: Implementation, up-scaling and regional crop yield validation. *Agricultural Systems*, 120, 61-75. DOI: 10.1016/j.agsy.2013.05.008
5. Bilousova, Z. (2018). Otsinka adaptivnoho potentsialu sortiv pshenytsi ozymoi (*Triticum Aestivum* L.) v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy [Evaluation of adaptive potential of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties in the

conditions of Southern Steppe of Ukraine]. *Scientific reports of NULES of Ukraine*, 3(73). DOI: 10.31548/dopovidi2018.03.013 (in Ukrainian).

6. Bolton, D. & Friedl, MA (2013) Forecasting crop yield using remotely sensed vegetation indices and crop phenology metrics. *Agricultural and Forest Meteorology*, 173, 74-84. DOI: 10.1016/j.agrformet.2013.01.007

7. Boogaard, H., Wolf, J., Supitc, I., Niemeyerd, S. & Van Ittersum, M. (2013) A regional implementation of WOFOST for calculating yield gaps of autumn-sown wheat across the European Union. *Field Crops Research*, 143, 130-142. DOI: 10.1016/j.fcr.2012.11.005

8. Cullmann, J., Dilley, M., Fowler, J., Grasso, VF, Kabat, P., Lúcio, F., ... Repnik, M. (2019) *State of Climate Services. Agriculture and Food Security*. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.

9. Deryng, D., Conway, D., Ramankutty, N., Price, J. & Warren, R. (2014) Global crop yield response to extreme heat stress under multiple climate change futures. *Environmental Research Letters*, 9(3), 034011. DOI: 1748-9326/9/3/034011

10. Ekström, G. & Ekbom, B. (2011) Pest Control in Agro-ecosystems: An Ecological Approach. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(1-2), 74-94. DOI: 10.1080/07352689.2011.554354

11. Finger, R. (2010) Evidence of slowing yield growth – the example of Swiss cereal yields. *Food Policy*, 35, 175-182. DOI: 10.1016/j.foodpol.2009.11.004

12. Foley, JA, Ramankutty, N., Brauman, KA, Cassidy, ES, Gerber, JS, Johnston, M., ... Zaks, DPM (2011) Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478, 337-342. DOI: 10.1038/nature10452

13. Godfray, HCJ, Beddington, JR, Crute IR, Haddad, L., Lawrence, D., Muir, JF, ... Toulmin, C. (2010) Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327, 812-818. DOI: 10.1126/science.1185383

14. Gourdji, SM, Sibley, AM & Lobell, DB (2013) Global crop exposure to critical high temperatures in the reproductive period: historical trends and future projections. *Environmental Research Letters*, 8(2), 024041. DOI:10.1088/1748-9326/8/2/024041

15. *Grain: world markets and trade*. (2020). Washington, USA: United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service.

16. Iizumi, T., Shin, Y., Kim, W., Kim, M. & Choi, J. (2018) Global crop yield forecasting using seasonal climate information from a multi-model ensemble. *Climate Services*, 11, 13-23. DOI: 10.1016/j.cliser.2018.06.003.

17. Klipakova, YuA. & Bilousova, ZV (2018) Vplyv peredposivnoi obrobky nasinnia ta pohodnykh umov roku na urozhainist ta yakist zerna pshenytsi ozymoi [The influence of presowing seed treatment and weather conditions on the yield and quality of wheat grain in winter]. *Irrigated farming*, 69, 41-45 (in Ukrainian).

18. Kogan, F., Kussul, N., Adamenko, T., Skakun, S., Kravchenko, O., Kryvobok, O., ... Lavrenyuk, A. (2013) Winter wheat yield forecasting in Ukraine based on Earth observation, meteorological data and biophysical models.

International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 23, 192-203. DOI: 10.1016/j.jag.2013.01.002

19. Kolpakov, VV & Sukharev, IP (1988) *Sel'skokhozyajstvenny'e melioraczii* [Agricultural land reclamation]. Moscow, Russia: Agropromizdat (in Russian).

20. Lecerf, R., Ceglar, A., López-Lozano, R., van Der Velde, M. & Baruth, B. (2019) Assessing the information in crop model and meteorological indicators to forecast crop yield over Europe. *Agricultural Systems*, 168, 191-202. DOI: 10.1016/j.agsy.2018.03.002

21. Lesk, C., Rowhani, P. & Ramankutty, N. (2016) Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529, 84-7. DOI: 10.1038/nature16467

22. Lobell, DB, Nicholas KA & Field, CB (2006) Weather-based yield forecasts developed for 12 California crops. *California Agriculture*, 60(4), 211-215. DOI: 10.3733/ca.v060n04p211

23. López-Lozano, R., Duveiller, G., Seguini, L., Meroni, M., García-Condado, S., Hooker, J., ... Baruth, B. (2015) Towards regional grain yield forecasting with 1 km-resolution EO biophysical products: Strengths and limitations at pan-European level. *Agricultural and Forest Meteorology*, 206, 12-32. DOI: 10.1016/j.agrformet.2015.02.021

24. Pachauri, RK, Allen, MR, Barros, VR, Broome, J., Cramer, W., Christ, R., ... Ypserle, J.P. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: IPCC.

25. Panwar, S., Kumar, A., Singh, KN, Paul, RK, Gurung, B., Ranjan, R., ... Rathore, A. (2018) Forecasting of crop yield using weather parameters-two step nonlinear regression model approach. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 88 (10), 1597-1599.

26. Parviz, L. & Paymai, M. (2017) Comparison of the efficiency of classical and fuzzy regression models for crop yield forecasting with climatological aspect. *Agriculture & Forestry*, 63(1), 235-248. DOI: 10.17707/AgricultForest.63.1.27

27. Pearson, K. (1901). On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *Philosophical Magazine*, 2(11), 559-572. DOI: 10.1080/14786440109462720

28. Petersen, LK (2018) Real-Time Prediction of Crop Yields From MODIS Relative Vegetation Health: A Continent-Wide Analysis of Africa. *Remote Sensing*, 10, 1726. DOI:10.3390/rs10111726

29. Rezaei, EE, Webber, H., Gaiser, T., Naab, J. & Ewert, F. (2015) Heat stress in cereals: mechanisms and modelling. *European Journal of Agronomy*, 64, 98-113. DOI: 10.1016/j.eja.2014.10.003

30. Shrestha, S., Ciaian, P., Himics, M. & Van Doorslaer B. (2013) Impacts of climate change on EU agriculture. *Review of Agricultural and Applied Economics*, 16(02), 24-39. DOI: 10.15414/raae.2013.16.02.24-39

31. Sobolev, I. & Babichenko, S. (2013) Application of the wavelet transform for feature extraction in the analysis of hyperspectral laser-induced fluorescence data. *International Journal of Remote Sensing*, 34(20), 7218-7235. DOI:10.1080/01431161.2013.817714
32. Van den Berg, M., & Baruth, B. (2020) Agrometeorological overview. *JRC MARS Bulletin Crop monitoring in Europe*, 28(3), 2-6.
33. Van der Velde, M. & Nisini, L. (2019) Performance of the MARS-crop yield forecasting system for the European Union: Assessing accuracy, in-season, and year-to-year improvements from 1993 to 2015. *Agricultural Systems*, 168, 203-212. DOI: 10.1016/j.agsy.2018.06.009
34. Webber, H., Ewert, F., Kimball, BA, Siebert, S., White, JW, Wall, ... Gaisera, T. (2016) Simulating canopy temperature for modelling heat stress in cereals. *Environmental Modelling & Software*, 77, 143-155. DOI: 10.1016/j.envsoft.2015.12.003
35. *World agriculture: towards 2015/2030. Summary report.* (2002). Rome, Italia: Food and agriculture organization of the united nations.

Список публікацій за розділом 1.1.1

1. Білоусова З. Продуктивність пшениці озимої залежно від впливу попередників в умовах Південного Степу України. *Актуальні питання виробництва продукції рослинництва та садівництва: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції* (м. Запоріжжя, 8 листопада 2023 р.). Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. С. 11-13.

Тема 1.2. Вдосконалення ресурсозберігаючих технологій вирощування олійних культур

Розділ 1.2.1. Формування продуктивності соняшнику у Південному Степу України за дії передпосівної обробки

Керівник теми
Виконавці

Покопцева Л.А.
Онищенко О.В.

Мета дослідження

Метою досліджень було вивчення впливу передпосівної обробки насіння соняшнику регулятором росту рослин АКМ і фунгіциду Дерозал на підвищення його продуктивності і якість урожаю в умовах Південного Степу України.

Об'єкт досліджень – сорт соняшнику Чумак.

Предмет досліджень – процес формування продуктивності рослин соняшнику за дії регулятора росту рослин АКМ і протруйника в умовах Південного Степу України.

Матеріали та методи дослідження

Соняшник – основна олійна культура в нашій країні. Однією з причин низької реалізації генетичного потенціалу нових районованих сортів соняшнику є недостатня обґрунтованість технологічних заходів адаптації рослин до несприятливих умов вирощування. Вирішення цієї проблеми можливе шляхом розробки нових та удосконалення існуючих елементів технології вирощування соняшнику, в тому числі і за рахунок застосування фунгіцидів і препаратів для регуляції ростових і продукційних процесів.

Для досліду використовували насіння соняшнику сорту Чумак, який рекомендований для вирощування у Степовій зоні.

Соняшник висівали за технологією, рекомендованою для зони Степу України. Культуру вирощували на богарі. Попередник – ярий ячмінь. Загальна площа ділянки становила 5 га. Розміщення ділянок систематичне у трьох повтореннях.

Ґрунти місця проведення досліду представлені чорноземами південними важкосуглинковими з вмістом гумусу 3,1 %. Ґрунти мають близьку до нейтральної реакції (рН водний 7,1). Забезпеченість орного шару легкогідролізованим азотом низька (за Корнфілдом 103 мг/кг), рухомим фосфором – підвищена (за Чиріковим 114 мг/кг), обмінним калієм – висока (за Чиріковим 139 мг/кг).

Дослід проводився за наступною схемою:

- Варіант 1 - контроль (без обробки)
- Варіант 2 - передпосівна обробка насіння фунгіцидом Дерозал (1,5 л/т)
- Варіант 3 - передпосівна обробка регулятором росту рослин АКМ (200 мл/т)

- Варіант 4 - Сумісне застосування для передпосівної обробки насіння препаратів АКМ (200 мл/т) і Дерозал (1,5 л/т)

АКМ внесений до Переліку пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні регулятор росту рослин. Він є напівсинтетичним плівкоутворюючим препаратом антистресової дії. До складу препаративної форми входять дистиол 0,015 г/л (диметилсульфоксид + іонол), ПЕГ – 1500 (440 г/л) та ПЕГ – 400 (190 г/л), решта – вода. Отриманим препаратом посівний матеріал інкрустували за добу до сівби (200 мл/т). Загальний об'єм робочого розчину 10 л/т насіння.

Технологія вирощування соняшнику була загальноприйнята для даної ґрунтово-кліматичної зони та однаковою для усіх варіантів досліджу, окрім досліджуваних факторів. Насіння висівали на початку третьої декади квітня при прогріванні ґрунту до 10 – 12 °С. Норма висіву 55 тис. шт./га за ширини міжрядь 70 см.

Статистичну оцінку даних проводили за методикою В.О. Єщенка та програмою «Agrostat».

Польова схожість – це кількість рослин у фазі повних сходів, виражене у відсотках від числа схожих насінин на одиницю площі. Вона залежить від вирівняності насіння, маси 1000 насінин, лабораторної схожості та фізіологічної стиглості. У наших дослідках за дії протруйника Дерозал спостерігалася тенденція до підвищення схожості насіння на 2%, за дії препарату АКМ - на 3 % порівняно з контролем (табл. 1.2.1). Найбільшу ефективність спостерігали при сумісному використанні регуляторів росту рослин АКМ і протруйника Дерозал, де польова схожість була вищою за контроль на 4 %.

Таблиця 1.2.1

Морфологічний аналіз соняшнику сорту Чумак

Показники	Варіант досліджу			
	контроль	Дерозал	АКМ	АКМ+Дерозал
Польова схожість,%	91	93	94	95
Кількість рослин, тис. на 1 га	45,0	45,9	46,4	46,8
Висота рослини, см	102,4±3,1	118,2±3,4*	123,4±3,6*	127,8±3,8*
Діаметр стебла, мм	15,8±0,2	17,6±0,2*	20,7±0,2*	22,9±0,2*
Кількість листків на рослину, шт	22,5±0,2	24,5±0,2*	26,5±0,2*	28,0±0,2*
Площа листової поверхні, см ²	108,2± 3,2	113,1±3,1	117,2±3,1	119,0±3,2*

* – різниця достовірна, порівняно з контролем ($P \leq 0,05$)

Використання досліджуваних препаратів достовірно збільшує висоту рослин на 15,8 – 25,4 см, порівняно з контролем. При цьому у варіанті досліджу з сумісним застосуванням АКМ і Дерозалу цей показник досягав максимуму і був вищим за контроль у 1,25 рази.

На фоні збільшення висоти рослин за дії передпосівної обробки спостерігалось і зміцнення стебел. Так, діаметр стебла достовірно збільшувався на 1,8 – 7,1% порівняно з контрольним варіантом досліду.

Збільшення фітомаси призводить до активізації фотосинтезуючого апарату і, відповідно, впливає на формування урожайних властивостей соняшнику. Слід зазначити, що за дії досліджуваних препаратів кількість листків на рослині збільшується від 2,0 до 5,5 шт., порівняно з контролем. Відповідно, площа листової поверхні також стає більшою. Особливо це стосується сумісного застосування препаратів АКМ і Дерозал, де цей показник достовірно вищий за контроль на 10 %.

Отже, кращий вплив на ростові процеси оказує дослід з сумісним застосуванням препаратів АКМ і Дерозал. Внаслідок збільшення фітомаси можна очікувати на краще формування урожайних властивостей соняшнику.

Передпосівна обробка насіння позитивно вплинула і на формування урожаю. За дії АКМ і Дерозалу збільшується діаметр кошика в 1,2 – 1,6 рази, порівняно з контролем (табл.1.2.2).

Таблиця 1.2.2

Структура врожаю соняшнику сорту Чумак

Показники	Варіант досліду			
	контроль	Дерозал	АКМ	АКМ +Дерозал
Діаметр кошика, см	10,6±0,3	12,9±0,3*	14,5±0,3*	17,1±0,4*
Маса насіння з 1 кошика, г	35,0±0,8	36,1±0,8	42,6±0,9*	45,8±0,9*
Кількість насіння в 1 кошику, шт	704,2±9,3	703,8±9,6	773,1±9,4*	817,9±9,6*
Маса 1000 насінин, г	49,7±0,9	53,0±0,8*	55,1±0,9*	56,0±0,9*
Біологічна врожайність, т/га	1,58	1,66	1,98	2,14

* – різниця достовірна, порівняно з контролем ($P \leq 0,05$)

Основними структурними одиницями урожаю соняшнику є маса та кількість насінин в одному кошику. При вивченні впливу досліджуваних препаратів з'ясовано, що застосування АКМ сприяє збільшенню цих показників на 22% і на 10% відповідно, порівняно з контролем. Однак, слід відмітити, що при сумісному застосуванні АКМ і Дерозалу кількість насінин в 1 кошику була більшою на 16%, порівняно з контролем, а їх маса - на 31 %.

Передпосівна обробка насіння соняшнику також призвела до збільшення такого показника, як маса 1000 насінин. Незалежно від варіанту обробки, цей показник був достовірно вищим за контроль на 6,6 – 12,7%.

Передпосівна обробка насіння, препаратами АКМ і Дерозал в значній мірі визначила показник продуктивності культури. Незалежно від варіанту обробки урожайність зросла на 5,1 – 35,4%, порівняно з контролем. Але слід

зазначити, що сумісне використання АКМ і Дерозалу сприяло більш інтенсивному підвищенню врожайності до 0,56 т/га.

Завдяки використанню АКМ сумісно з протруювачем Дерозал, підвищується класність отриманого урожаю за показником натуре, порівняно з контрольним варіантом досліду. Окрім цього, знижується лузжистість насіння до 19%, порівняно з контролем, що дає змогу збільшити вихід олії з однієї тони продукції (табл. 1.2.3).

Таблиця 1.2.3

Якість насіння соняшнику, залежно від передпосівної обробки

Варіант досліду	Натура, г/л	Лузжистість, %	Олійність, %	Кислотне число, мг КОН/г олії
Контроль	372,8 ± 8,3	30,4 ± 0,8	45,6 ± 0,7	0,29 ± 0,01
Дерозал	390,3 ± 7,9*	29,6 ± 0,7	45,9 ± 0,6	0,28 ± 0,01
АКМ	402,5 ± 8,5*	28,2 ± 0,8	47,0 ± 0,7	0,23 ± 0,01*
АКМ + Дерозал	431,0 ± 8,1*	25,6 ± 0,8*	47,6 ± 0,6	0,22 ± 0,01*

* – різниця достовірна, порівняно з контролем ($P \leq 0,05$)

Основним показником якості соняшнику також є і вміст олії. Так, у контрольному варіанті цей показник сягав 45,6%. Застосування досліджуваних препаратів має тенденцію до збільшення олійності цього сорту до 2%. За вмістом вільних жирних кислот за дії препарату АКМ і сумісної дії АКМ і Дерозалу, кислотне число олії було в 1,26 – 1,32 рази нижчим, порівняно з контрольним варіантом досліду.

ВИСНОВКИ

Найбільший ефект дає варіант досліду з сумісним використанням для передпосівної обробки насіння соняшнику регулятора росту рослин АКМ і фунгіциду Дерозал. При цьому збільшується загальна фітомаса, покращуються урожайні і якісні властивості соняшнику сорту Чумак.

Література

1. Приседський Ю.Г. Фотосинтез. Методичний посібник з виконання лабораторних робіт та самостійної роботи. Вінниця: ДонНУ, 2016.– 68 с.
2. Лихочвор В.В., Петриченко В.Ф., Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур. Львів. НВФ 8. (Українські технології), 2006. – 730 с.
3. Хасхачих М. В. Вплив густоти стояння рослин та способу сівби на динаміку показників сухої речовини та продуктивність фотосинтезу соняшнику в післякисних посівах. Зрошуване землеробство. 2014. Вип. 56. С. 151-156.

4. Грицаєнко З.М., Грицаєнко А. О. Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. Київ. Нічлава, 2003. С. 320.
5. ДСТУ 4138-2002. Національний стандарт України. Насіння сільськогосподарських культур. – К.: Держстандарт України, 2003. С. 173.
6. Основи наукових досліджень в агрономії: Підручник / В.О. Єщенко, П.Г. Копитко, В.П. Опришко, П.В. Костогриз; за ред.. В.О. Єщенко. К.: Дія. 2005. 288 с.
7. Зайцев О.М. Використання якісного насіння – найшвидший шлях до підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва. Пропозиція. 2002. № 5. С.

Список публікацій за розділом 1.2.1

1. Покопцева Л.А., Зоря М.В. Формування продуктивності соняшнику у Південному Степу України за дії передпосівної обробки. Актуальні питання виробництва продукції рослинництва та садівництва: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (Запоріжжя, 8 листопада 2023 р.) / ТДАТУ; ред. кол. С. В. Кюрчев, А.І. Панченко [та ін.]. Запоріжжя : ТДАТУ, 2023. С.25 – 28.

Розділ 1.2.2. Динаміка формування площі листкової поверхні соняшнику залежно від обробки регулятором росту АКМ з додаванням кальцію у зоні Південного Степу України

Керівник теми
Виконавці

Покопцева Л.А.
Онищенко О.В.,
Старостенко С.

Мета дослідження

Метою досліджень було визначення впливу РРР АКМ+Са на формування площі листкової поверхні соняшнику у зоні Південного Степу України.

Об’єкт досліджень – гібрид соняшнику Коломбі.

Предмет досліджень - процес формування фотосинтетичної активності соняшнику гібриду Коломбі за дії регулятора росту рослин АКМ+Са в умовах Південного Степу України

Матеріали та методи дослідження

В Україні вирощування соняшнику та виробництво соняшникової олії займає провідне місце – це близько 95% від загального обсягу рослинних олій (маргарину, майонезу, гліцерину, мила тощо). Значна частина виробництв

сконцентрована на великих спеціалізованих підприємствах, інші – це середні та малі олійні. Олія має важливе народногосподарське значення. Її споживають як цінний харчовий продукт у натуральному вигляді, широко використовують у харчовій, текстильній, лакофарбовій, парфумерній та інших галузях промисловості для виробництва маргарину, оліфи, мила, стеарину, лінолеуму тощо.

Соняшникова олія – висококалорійний харчовий продукт, якому притаманні гарні смакові якості. Насіння соняшнику містить 50-56% олії (від сухої маси насіння) та 16,5% протеїну. Олія має високі смакові якості, за засвоюваністю (86-91%) та калорійністю (929 ккал) значно краща за інші жири. Вона містить біологічно-активні речовини, необхідні для людини: фосфатиди та вітаміни групи А, D, Е, К.

Соняшник відноситься до рослин короткого світлового дня, тобто відбувається наростання вегетативної маси за тривалості світлового дня 8–12 годин, а при збільшенні світлового дня понад 12 годин їх розвиток затримується.

Кількість олії в насінні соняшнику, зростає зі збільшенням приходу сонячної енергії, тому вирощування цієї культури в зоні Степу де інтенсивність сонячної радіації висока є сприятливою. Проте недостатня кількість вологи на початку проростання насіння та під час проходження вегетаційного періоду може значно знизити урожайність культури.

Таким чином в зоні ризикованого землеробства все частіше застосовують регулятори росту рослин для захисту насіння від стресу під час проростання, адже саме цей період є одним із ризикованих.

У посушливій зоні Степу рослини соняшнику на ранніх етапах свого розвитку можуть використовувати вологу орного шару, що накопичилася у зимово-весняний період. Завдяки подальшому розвитку могутньої кореневої системи та її заглиблення у ґрунт, рослини соняшнику використовують вологу ґрунтових вод. Це сприяє нормальному розвитку і виживанню рослин у період шкодочинної дії повітряної посухи, яка найбільш небезпечна в період цвітіння рослин і наливу насіння [1].

Застосування ріст регулюючих препаратів веде за собою зменшення дії пестицидів та стимулювання ростових процесів на різних етапах онтогенезу, крім того вони захищають насіння, підсилюють стійкість культур до несприятливих агрокліматичних умов за умови обприскування рослин препаратом і під час вегетації [2].

Результати досліджень

Науковий експеримент був проведений у 2017-2019 рр. Мелітопольському районі Запорізької області. Метою досліджень було встановити вплив регулятора росту рослин АКМ з додаванням кальцію на динаміку формування площі листової поверхні рослин соняшнику в умовах Степової зони України. За літературними даними саме іони кальцію є структурним компонентом фотосистеми II, вони беруть участь у

фотосинтетичному окисленні води, а також покращують ефективність фотосинтезу і стимулюють ланки антиоксидантного захисту рослин [3].

З фази розвитку ВВСН-12-14 спостерігається наростання площі листової поверхні. Поступове зростання цього показника сягає максимуму у стадії цвітіння ВВСН-63-65. Значні зміни зафіксовані у варіанті з передпосівною обробкою насіння регулятором росту рослин АКМ з додаванням кальцію де зростання цього показника було на 4,9 %, порівняно з контролем.

Додаткове обприскування рослин соняшнику препаратом АКА сумісно з кальцієм у фазу початку бутонізації ВВСН-50-51 сприяє зростанню площі листової поверхні до фази масового цвітіння ВВСН-63-65 на 20,9 %, порівняно з контролем.

Таблиця 1.2.4

Динаміка формування площі листової поверхні гібриду Коломбі за обробки насіння і рослин регулятором росту АКМ з додаванням кальцію, (тис.м²/га)

Варіант досліджу	Фаза розвитку рослин ВВСН				
	12-14	18-20	39-41	50-51	63-65
Контроль (передпосівна обробка насіння водою)	12,0	16,7	19,8	27,8	45,2
Передпосівна обробка насіння АКМ з додаванням Кальцію	13,4	19,9	23,6	30,2	50,1
Обприскування рослин АКМ з додаванням Кальцію у фазу початку бутонізації	-	-	-	-	48,7
Передпосівна обробка насіння АКМ з додаванням кальцію + обприскування рослин АКМ з додаванням Кальцію у фазу початку бутонізації	-	-	-	-	53,9

Збільшення площі листової поверхні сприятиме зростанню фотосинтетичної активності, відповідно це буде призводити до накопичення сухої речовини, що прямопропорційно веде до збільшення продуктивності рослин соняшнику.

ВИСНОВКИ

Для підвищення адаптаційних властивостей під час проростання насіння необхідно проводити інкрустацію насіння регулятором росту АКМ із додаванням кальцію, а для збільшення площі листової поверхні соняшнику необхідно провести додаткове обприскування рослин даним препаратом.

Література

1. Almashova V. S., Skok S. V. Effectiveness of application of biological preparations and plant growth regulators for growing agricultural crops in the southern steppe zone of Ukraine. *Bulletin of Sumy National Agrarian University Series "Agronomy and biology"*. 2022. Vol. 1(47). P. 11-17. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.2>.
2. Khan N., Bano A. M. D., Babar A. Impacts of plant growth promoters and plant growth regulators on rainfed agriculture. *PLoS ONE*. 2020. Vol. 15(4). e 0231426. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231426>.
3. Kolesnikov M., Pashchenko Y., Ninova H., Kapinos M., & Kolesnikova A. Effect of Preparations Methyure (6-Methyl-2-Mercapto-4-Hydroxypyrimidine) on Corn (*Zea Mays* L.) Biological Productivity Under Saline Soil Conditions. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. 2019. P. 719–728. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5_70.

Список публікацій за розділом 1.2.2

1. Онищенко О.В., Старостенко С. Динаміка формування площі листової поверхні соняшнику залежно від обробки регулятором росту «АКМ» з додаванням кальцію у зоні Південного Степу України. Актуальні питання виробництва продукції рослинництва та садівництва: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (Запоріжжя, 8 листопада 2023 р.) / ТДАТУ; ред. кол. С. В. Кюрчев, А.І. Панченко [та ін.]. Запоріжжя : ТДАТУ, 2023. С.22 – 25.

Тема 1.3. Вдосконалення технології вирощування зернобобових культур

Розділ 1.3.1. Вплив водного дефіциту на проростання насіння *Zea mays* L.

Керівник теми
Виконавці

М.О. Колесніков
Ю.П. Пащенко
М.В. Капінос

Дефіцит води є найбільш лімітуючим фактором формування врожаю серед факторів, що викликають стрес у рослин. Посушливі періоди повторюються дуже часто в період сівби та негативно впливають на рослини протягом вегетації в напівпосушливій та посушливій частині України та Європи в цілому [1]. Порушення водного балансу в рослинному організмі призводить до змін інтенсивності фотосинтезу, вуглеводного та білкового обміну. Водний стрес сприяє накопиченню різних токсичних продуктів, зокрема метаболітів активного кисню (АМК), перекисів ліпідів та окислених білків.

Відомо, що антиоксидантна система відіграє важливу роль в адаптації рослин до несприятливих факторів навколишнього середовища. Антиоксидантна система забезпечує толерантність до пошкоджуючих стресів навколишнього середовища, що корелює з підвищеною здатністю до поглинання або детоксикації АФК. Різноманітні ферментативні та неферментативні антиоксидантні компоненти усувають АФК, інгібують розвиток процесу пероксидації та запобігають фрагментації ДНК. Антиоксидантні ферменти, такі як супероксиддисмутаза (СОД), аскорбатпероксидаза (АПХ) і каталаза (КАТ), відіграють важливу роль у боротьбі зі стресом від посухи.

Вода є фактором активації біохімічних і фізіологічних процесів, які супроводжують замочування і проростання насіння. Рослини дуже чутливі навіть до незначного зниження водного потенціалу на стадії проростання. Тому в умовах осмотичного стресу в зародкових вісях порушується фізіологічно нормальний рівень вільнорадикальних процесів і посилюється синтез сумісних осмолітів [2].

Кукурудза (*Zea mays* L.) - одна з найважливіших зернових культур у світі після пшениці та рису. Зазвичай вона потребує 500-800 мм води протягом свого життєвого циклу (80-110 днів). Доступність води та її переміщення до насіння є дуже важливими для проростання, початкового росту коренів, подовження пагонів, а отже, для формування рівномірного травостою. Проростання починається із занурення насіння в результаті поглинання води. Цей процес відбувається завдяки різним рівням осмотичного потенціалу між сухим насінням і водою в субстраті проростання. Загалом, вміст води в насінні зернових культур повинен становити щонайменше 35-45% від сухої маси насіння, щоб відбувався процес проростання. Вкрай негативний осмотичний потенціал може вплинути на поглинання води насінням, що унеможливить

проростання. Найпоширенішими реакціями рослин на зниження осмотичного потенціалу є затримка початкового проростання та зниження швидкості і загальної схожості [3]. В умовах низького рівня зволоження степу дефіцит води негативно впливає на різні етапи росту і розвитку кукурудзи та зернових культур в цілому [4].

У численних дослідженнях відзначено зміни активності антиоксидантної системи та компонентів метаболізму за умов посухи під час проростання насіння, але отримані результати є різними, а іноді й суперечливими. Наразі основний фокус досліджень кукурудзи спрямований на покращення характеристик стійкості до абіотичних стресів. Вивчення стійкості кукурудзи до водного дефіциту на стадії проростання є важливим для розуміння механізму стресового пошкодження, пошуку прийомів, що оптимізують метаболічні процеси, а також для підбору оптимальної вологості при сівбі. В результаті цих досліджень ми зможемо розробити агротехнології вирощування гібридів кукурудзи в посушливих умовах без зниження врожайності зерна в стресових умовах.

Мета дослідження

Метою було з'ясувати особливості впливу різних рівнів водного стресу на перекисне окислення ліпідів, вміст проліну, активність каталази та амінотрансфераз, а також морфометричні показники на ранніх стадіях проростання насіння кукурудзи.

Об'єкт дослідження: процес проростання насіння кукурудзи за умов модельованого водного дефіциту.

Предмет дослідження: вміст продуктів пероксидації, активність каталази, АЛТ, АСТ, вміст проліну, схожість, маса та довжина проростків та коренів кукурудзи.

Матеріали та методи дослідження

Для дослідження впливу осмотичного стресу використовували насіння кукурудзи (*Zea mays* L.) гібриду ДКС 5143 (виробництва компанії Monsanto). ДКС 5143 - середньопізній гібрид кукурудзи (ФАО 430) з високою пластичністю та середньою посухостійкістю. Насіння кукурудзи належить до зубовидного типу, маса 1000 зерен становить 330-370 г. Насіння кукурудзи розміщували в умовах ростової камери з температурним режимом $24 \pm 2^\circ\text{C}$ у темряві. Через три дні після посіву проросле насіння вирощували при 14-годинному фотоперіоді, 60% відносній вологості (RH) та $100 \text{ моль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ щільності потоку фотонів фотосинтезу (PPFD), що забезпечується люмінесцентними лампами.

Дизайн експерименту включав 5 груп. Одна група була контрольною, де насіння кукурудзи пророщували на воді. Інші чотири групи використовували

для обробки дефіциту води шляхом впливу ПЕГ-1500 (поліетиленгліколю) у концентраціях 20, 50, 100, 200 г/л. Кожна концентрація створює відповідний осмотичний потенціал (-0,5, -1,5, -3 і -6 бар). Насіння з контрольного варіанту та варіанту з посухою пророщували згідно з протоколом Міжнародної асоціації з контролю за якістю насіння (ISTA). Для кожного варіанту 250 насінин розміщували на п'яти чашках Петрі діаметром 90 мм (по 50 насінин на кожній чашці). Два шари фільтрувального паперу були змочені 5 мл інкубаційного середовища [5].

Для визначення біохімічних показників використовували сухе насіння, ендосперм пророслого насіння та ембріональну вісь (первинні корінці та колеоптиль). Ендосперм пророслого насіння відбирали через 2, 4, 6, 12, 24 години після посіву. Вісь зародка знімали на 3 та 7 добу після посіву. У групі з обробкою 200 г/л ПЕГ-1500 насіння не проростало, тому параметри колеоптилів та коренів не визначали на 3 та 7 добу.

Водопоглинання вимірювали, поміщаючи насіння кукурудзи відомої ваги у воду або водні розчини ПЕГ-1500 різної концентрації. Через різні проміжки часу визначали масу води, поглинутої насінням, а потім зважували. Кінетику поглинання води відстежували через 2, 4, 6, 12, 24 години після висіву насіння на чашки Петрі.

Енергію проростання насіння вимірювали після 3 днів вирощування. Під час обліку енергії проростання розраховували кількість нормально пророслого насіння. Лабораторну схожість, сиру масу коренів і колеоптилів та довжину колеоптилів кукурудзи вимірювали на 7 день після посіву.

Проростки розділяли на корені та колеоптилі на 7 день після проростання. Сиру масу (г/100 шт.) коренів і колеоптилів визначали за допомогою аналітичних ваг. Довжину колеоптиля (см) визначали як відстань від щитка до місця, де перший листок прорвав верхівку колеоптиля.

Визначали вміст ТБК-реактивних речовин (TBARS) фотометричним методом за концентрацією малонового діальдегіду (МДА), яку розраховували за його коефіцієнтом екстинкції $155 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ і виражали в $\text{mM} \times \text{g}^{-1}$ сирової тканини.

Вміст проліну ($\text{mkg} \times \text{g}^{-1}$) вимірювали за допомогою швидкого колориметричного методу Bates et al. Концентрацію проліну визначали за стандартною кривою, побудованою з використанням аналітичного проліну.

Активність каталази (ЕС 1.11.1.6) визначали за реакцією з молібдатом амонію. Поглинання забарвленого комплексу зчитували при 410 нм. Активність каталази розраховували за її коефіцієнтом екстинкції $22400 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. Вміст білка в рослинному гомогенаті визначали за Лоурі О.Н. та ін. (1951) за допомогою реактиву Фоліна.

Активність амінотрансфераз визначали колориметричним методом з 2,4-динітрофенілгідразином у деяких модифікаціях, результати виражали в $\text{mkmol} \times \text{год}^{-1} \times \text{mg}^{-1}$ білка.

Дані були проаналізовані за допомогою дисперсійного аналізу (ANOVA). Всі вимірювання представляють середні значення та стандартну похибку

(\pm SE) для п'яти реплік. Статистично значущі відмінності між середніми значеннями порівнювали на рівні ймовірності 0,05 за допомогою t-критерію Стьюдента.

Результати досліджень

Поглинання води зернами кукурудзи в процесі замочування відбувалося нерівномірно. У перші години зерна поглинали воду інтенсивно, але в міру насичення водою процес сповільнювався. Необхідна вологість була досягнута повільно в останні години. Досягнення необхідної вологості відбувається через 24-30 годин. Як відомо, первинне поглинання води здійснюється насінневими оболонками, які мають велику кількість капілярів, пор і пустот, що слугують резервуаром для первинного накопичення води. Потім вода проникає в насінневі оболонки, зародок і алейроновий шар і міцно зв'язується білками і вуглеводами. Подальший рух води спрямований всередину ендосперму.

Насіння кукурудзи, пророщене на воді, характеризується найшвидшим поглинанням води порівняно з насінням, пророщеним на розчинах ПЕГ-1500 протягом першої доби (рис. 1.3.1).

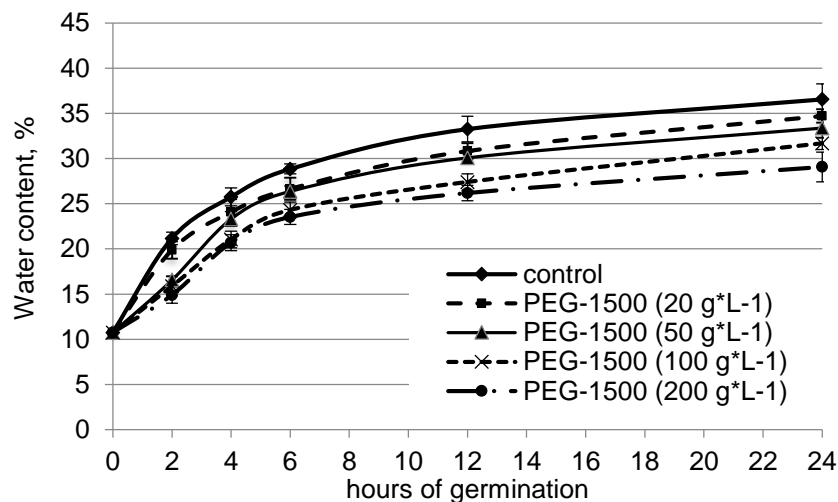


Рисунок 1.3.1. Зміна вмісту води в насінні кукурудзи під час проростання за різного водного дефіциту. Вертикальна лінія - стандартна похибка середнього значення.

Інтенсивність поглинання води знижувалась при проростанні насіння кукурудзи в умовах водного дефіциту. Причому зменшення намокання насіння прямо залежало від ступеня депресії водного потенціалу субстрату. Зменшення намокання спостерігалось через 2 години після початку проростання. Найактивніше інгібування процесу намокання (до 7,5%) спостерігалось у насіння, яке проростало в розчині ПЕГ-1500 (200 г/л). Отримані результати свідчать про формування водного дефіциту під час проростання насіння кукурудзи в розчинах ПЕГ.

Відомо, що поглинання води є ініціюючим фактором проростання насіння. Зниження водного потенціалу середовища уповільнює фізіологічні процеси гідролізу запасних речовин та ферментативну активність, що в кінцевому підсумку пригнічує активність ембріональної осі [6].

Наступна фаза проростання характеризується переходом насіння до насиченого стаціонарного водного стану. Вміст води в зерні кукурудзи на кінець першої доби проростання в контрольній групі збільшився на 25,9%. У той же час, вміст води в зернах кукурудзи, пророщених на ПЕГ-1500 (200 г/л), збільшився лише на 18,3% порівняно з SDW. Безумовно, відмінності у поглинанні води насінням під час проростання зумовлюють певні особливості в метаболічних шляхах пророслої кукурудзи та формуванні загальної стійкості рослин.

Природа онтогенетичних особливостей інтенсивності процесів перекисного окислення ліпідів (ПОЛ) складна і залежить від багатьох факторів: доступності субстрату, якості субстратів, умов проростання тощо. Процеси ПОЛ та антиоксидантний захист рослин залежать від сили та тривалості дії несприятливих факторів. Дані, представлені в таблиці 1, показують, що вміст TBARS збільшується в усіх досліджуваних варіантах обробки протягом шести годин після початку проростання насіння кукурудзи.

Вміст TBARS в ендоспермі насіння збільшувався в 1,75 - 1,89 рази протягом 6 годин після висіву в умовах водного дефіциту. Слід зазначити, що рівень TBARS в ендоспермі насіння, яке інкубували у воді, досягав максимуму (7,31 мкмоль МДА·г⁻¹) через 2 години після посіву, після чого вміст TBARS знижувався.

Таблиця 1.3.1. Вміст ТБК-активних речовин у пророслому насінні кукурудзи за водного дефіциту (мкмоль МДА*г⁻¹, середнє±SE)

Час, год	варіант				
	Н O ₂	ПЕГ-1500 20 г*л ⁻¹	ПЕГ-1500 50 г*л ⁻¹	ПЕГ-1500 100 г*л ⁻¹	ПЕГ-1500 200 г*л ⁻¹
0	3.99±0.04	3.89±0.03	4.10±0.06	4.06±0.13	3.87±0.04
2	7.31±0.14	5.72±0.43*	5.81±0.35*	6.84±0.10	4.85±0.22*
4	5.05±0.19	5.42±0.04	5.68±0.12	6.57±0.15*	6.15±0.20*
6	5.70±0.18	7.00±0.02*	7.26±0.14*	7.54±0.04*	7.37±0.13*
12	2.83±0.08	3.78±0.03*	4.03±0.03*	4.11±0.04*	3.96±0.06*
24	4.35±0.17	4.55±0.08	5.18±0.22*	5.21±0.07*	4.70±0.10

*достовірно порівняно з контролем ($P < 0,05$)

Інтенсивність процесів перекисного окиснення в насінні кукурудзи всіх груп, оброблених ПЕГ-1500, знижувалася від 6 годин до 24 годин після початку проростання. Вміст TBARS у насінні, інкубованому на розчинах ПЕГ різної концентрації, був вищим у 1,23 - 1,32 рази порівняно з контрольною групою через 6 годин після проростання. Максимальне зростання вмісту TBARS у насінні кукурудзи (в 1,45 раза) зафіксовано за обробки 100 г·л⁻¹ ПЕГ-1500 через 12 год після сівби. Інтенсивність ПОЛ у насінні наприкінці першої доби проростання була в межах 4,35-5,21 мкмоль МДА*г⁻¹ за всіх досліджуваних препаратів. Загалом було відмічено, що рівень ТБК-активних продуктів в

ендоспермі насіння в перший день проростання за дії розчинів ПЕГ-1500 був вищим, ніж у контролі.

Дані, проілюстровані на рис. 1.3.2, свідчать про значне зростання інтенсивності пероксидного окиснення ліпідів у колеоптилях кукурудзи після 3 діб експозиції в умовах водного дефіциту.

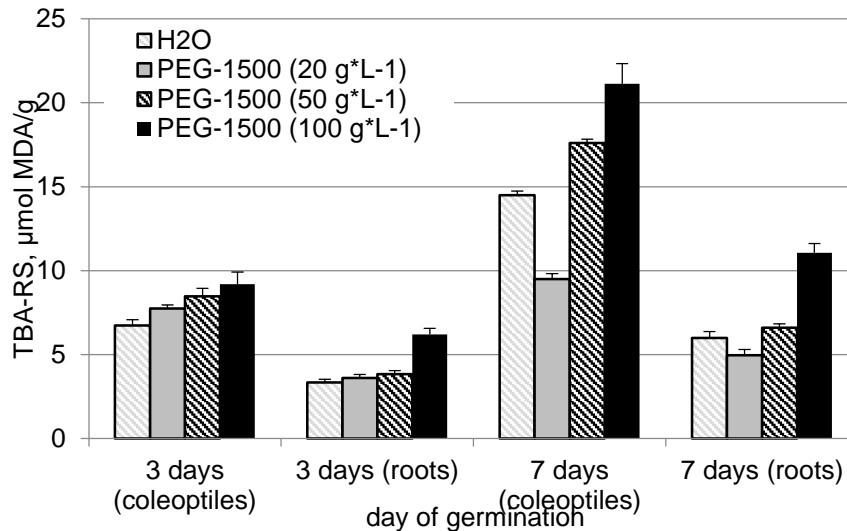


Рисунок 1.3.2. Вміст ТБК-активних речовин у колеоптилях та коренях кукурудзи за водного дефіциту. Вертикальна лінія - стандартна похибка середнього значення; * порівняно з контролем (обробка H₂O) (P < 0,05).

Зростання вмісту TBARS у тканинах проростків за водного дефіциту свідчить про вищий рівень окисного метаболізму в їхніх клітинах порівняно з рослинами, які проростали за нормального водозабезпечення. Більш того, було виявлено, що розчин ПЕГ-1500 (100 г*л⁻¹) був найактивнішим, збільшуючи вміст TBARS у колеоптилі кукурудзи на 36,5% порівняно з контролем. Крім того, вміст TBARS у 3-денних коренях кукурудзи був майже в 2 рази вищим, ніж у пророщених на воді під впливом ПЕГ-1500 (100 г*л⁻¹).

Органи зародкової осі 7-добових проростків характеризувалися високим вмістом продуктів пероксидного окиснення порівняно з попереднім періодом онтогенезу. Вміст ТБК-активних продуктів у колеоптилях та коренях кукурудзи продовжував суттєво зростати за дії розчину ПЕГ-1500 у концентраціях 50 та 100 г*л⁻¹. Так, вміст TBARS у колеоптилях та коренях 7-денних проростків кукурудзи зростав на 46,2% та 84,8% відповідно за дії ПЕГ-1500 (100 г*л⁻¹) порівняно з контрольними проростками. За дії ПЕГ-1500 (20 г*л⁻¹) не виявлено суттєвих змін інтенсивності ПОЛ у 3-денних ембріональних зародкових органах кукурудзи. Хоча інтенсивність ПОЛ у 7-добових проростках кукурудзи була навіть нижчою (P ≤ 0,05) від контрольних значень за умов легкого водного дефіциту.

Характер інтенсифікації процесів ПОЛ та функціонування антиоксидантної системи значною мірою залежить від сили та тривалості дії несприятливого чинника [7].

Слід зазначити, що вміст проліну в насінні кукурудзи знизився в контрольному варіанті на 28,6% протягом перших 4 годин проростання (табл. 1.3.2).

Таблиця 1.3.2. Вміст проліну в пророслому насінні кукурудзи за умов осмотичного стресу (мкг*г⁻¹, середнє±SE)

Час, год	Лікування				
	Н О2	ПЕГ-1500 20 г-л ⁻¹	ПЕГ-1500 50 г-л ⁻¹	ПЕГ-1500 100 г-л ⁻¹	ПЕГ-1500 200 г-л ⁻¹
0	18.89±0.37	18.15±0.35	19.45±0.50	19.50±0.85	18.94±0.46
2	17.77±0.41	17.70±0.40	16.92±0.62	16.50±0.69	20.30±0.81*
4	13.54±0.35	13.54±0.41	18.61±0.56*	16.50±0.63*	19.88±0.75*
6	16.92±0.55	16.90±0.43	18.61±0.68	21.15±0.95*	21.57±0.92*
12	19.88±0.93	20.73±1.05	22.00±0.88	22.10±1.12	22.20±1.06*
24	21.15±0.98	24.53±0.95	24.75±1.02*	24.11±1.38	25.38±1.11*

Проте вміст проліну в насінні дещо змінювався протягом цього періоду під впливом осмотичного стресу. Далі вміст проліну зростав у насінні кукурудзи всіх груп аж до 24-годинного періоду проростання. Насіння характеризувалося стабільно вищим вмістом проліну порівняно з контрольним насінням протягом першої доби проростання в умовах водного дефіциту. Так, вміст проліну в насінні кукурудзи, обробленому розчинами ПЕГ різних концентрацій протягом першої доби, перевищував контрольні значення на 14-20% ($P \leq 0,05$).

Надходження води в клітини відбувається в результаті градієнта концентрації. Накопичення осмолітів передуює фазі розширення клітин у зародковій осі, коли формуються корені та проростки. Накопичення осмолітів і проліну, зокрема, продовжує підтримувати потік води до клітини, щоб зберегти осмоляльність клітинного матриксу. Тому градація впливу осмотичного стресу спостерігалася більш виразно в органах зародкової осі кукурудзи.

Концентрація проліну зросла в 1,44 та 1,19 рази в колеоптилях та коренях 3- денної кукурудзи, пророщеної в розчині ПЕГ-1500 (20 г*л⁻¹), відповідно (рис. 1.3.3).

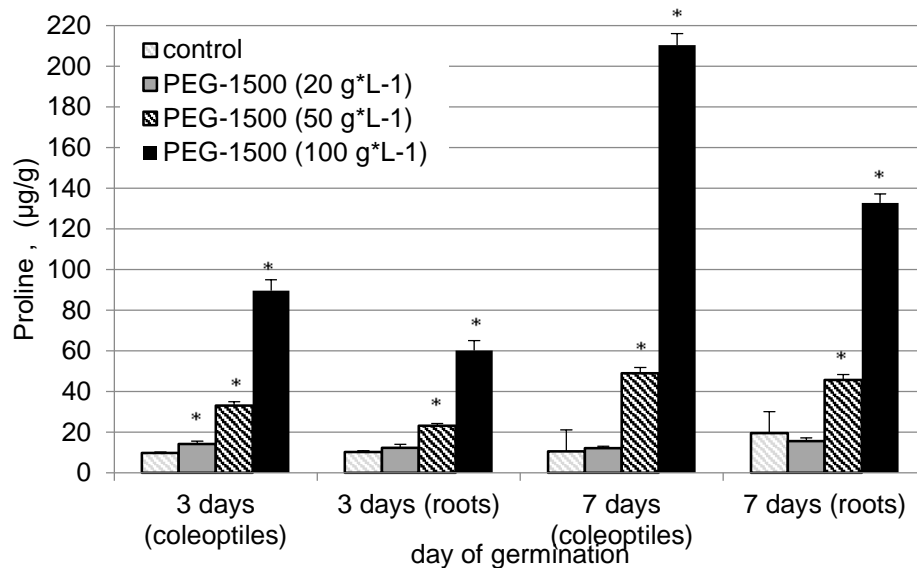


Рисунок 1.3.3. Вміст проліну в колеоптилях та коренях кукурудзи за водного дефіциту.

Тоді як вміст проліну в дослідних тканинах за дії розчину ПЕГ-1500 (100 г*л⁻¹) зростав у 9,2 та 5,9 разів відповідно порівняно з контрольним насінням. Аналогічну тенденцію спостерігали і в 7-добових проростках кукурудзи, коли реєстрували надмірну активацію та накопичення проліну в колеоптилях і коренях, вміст якого в 19,8 та 6,8 разів перевищував концентрацію проліну в контрольних проростках відповідно.

Виявлено тісний прямий кореляційний зв'язок ($r = 0,86 \div 0,91$) між концентрацією ПЕГ-1500 (осмотичним потенціалом) та вмістом проліну в тканинах.

Накопичення осмотично активних речовин є універсальною адаптивною реакцією рослинного організму на осмотичний стрес. Низькомолекулярні сполуки та амінокислоти, зокрема, забезпечують регуляцію осмотичного потенціалу, детоксикацію вільного аміаку та нормалізацію енергетичного обміну в умовах водного дефіциту. Пролін належить до так званих "стресових" амінокислот, а здатність рослин накопичувати пролін забезпечує їхню осмотолерантність [8]. Отримані дані підтверджують дослідження на різних сортах кукурудзи, де було показано, що посушливий стрес негативно впливає на вміст хлорофілу та проліну.

У низці робіт [9, 10] доведено синтез проліну глутаматсинтазним шляхом під час стресової реакції. Встановлено, що між вмістом проліну та TBARS у проростаючих тканинах кукурудзи існує пряма кореляція. Коефіцієнт кореляції між цими показниками сильніший у коренях кукурудзи ($r = 0,95$), ніж у колеоптилях ($r = 0,70$) 3- та 7-добових проростків. Цей факт, ймовірно, свідчить про вищу адаптаційну здатність кореневої системи кукурудзи на ранніх стадіях проростання до осмотичного стресу.

Антиоксидантна система відіграє ключову роль в усуненні продуктів окислювального стресу. Каталаза є одним з ключових ферментів, що беруть

участь у захисті рослинного організму від вільнорадикального окислення біомолекул [11].

Початковий етап проростання кукурудзи характеризується підвищенням ферментативної активності внаслідок гідростимулюючої ініціації білкових комплексів. У контрольній групі спостерігали зростання активності КАТ з 0,688 до 1,912 мкатал*мг⁻¹ білка впродовж перших 24 годин після проростання насіння (табл. 1.3.3).

Таблиця 1.3.3. Активність каталази у пророслому насінні кукурудзи за водного дефіциту (mcatал*мг⁻¹ білка, середнє±SE)

Час, год	варіант				
	Н О ₂	ПЕГ-1500 20 г-л ⁻¹	ПЕГ-1500 50 г-л ⁻¹	ПЕГ-1500 100 г-л ⁻¹	ПЕГ-1500 200 г-л ⁻¹
0	0.688±0.008	0.675±0.010	0.693±0.009	0.680±0.011	0.626±0.007
2	1.237±0.019	1.396±0.011*	1.412±0.010*	1.291±0.005	1.190±0.005
4	1.047±0.055	1.290±0.027*	1.231±0.020*	1.324±0.006*	1.225±0.026*
6	1.466±0.023	1.524±0.006	1.524±0.013	1.754±0.014*	1.818±0.071*
12	1.224±0.002	1.372±0.012*	1.861±0.021*	2.834±0.037*	2.859±0.079*
24	1.912±0.019	1.756±0.057	2.035±0.059	2.236±0.057*	2.578±0.075*

Через 2 години інкубації під впливом розчинів ПЕГ-1500 активність КАТ у насінні змінювалася від 3,8 до 14,1% порівняно з контролем. Активність САТ в насінні кукурудзи всіх груп, оброблених ПЕГ-1500, перевищувала активність у контрольній групі через 4 години після посіву (від 17 до 26%) та через 6 годин (від 4 до 24%). Достовірне зростання активності КАТ в 1,20 та 1,24 рази (P<0,05) було доведено лише за обробки 100 та 200 г*л⁻¹ ПЕГ-1500 через 6 годин після висіву насіння, відповідно. Максимальне зростання активності КАТ в 1,24; 2,34 та 1,35 рази (P<0,05) зафіксовано за обробки ПЕГ-1500 (200 г/л-1) через 6, 12 та 24 години після висіву насіння відповідно та порівняно з контролем.

Зростання активності КАТ узгоджується зі збільшенням вмісту ТВАРS в ендоспермі протягом 12 годин проростання і може розглядатися як адаптивна відповідь на дію осмотичного стресу.

Розчин ПЕГ-1500 (20 г*л⁻¹) спричиняв зниження активності КАТ у колеоптилях як 3-, так і 7-добових проростків кукурудзи. Незначне зниження активності КАТ у колеоптилях пов'язане зі зниженням процесів ПОЛ за дії розчину ПЕГ-1500 (20 г*л⁻¹), що не створює вираженого ефекту водного дефіциту. Більш чутливими до водного стресу є корені кукурудзи. Збільшення активності КАТ у 3- та 7-денних коренях кукурудзи було зафіксовано навіть за дії розчину ПЕГ-1500 (20 г г*л⁻¹). У колеоптилях і коренях кукурудзи, інкубованих з розчинами ПЕГ-1500 вищих концентрацій, відмічено активацію КАТ у колеоптилях і коренях кукурудзи. Найвища стимуляція активності КАТ спостерігалася за дії розчину ПЕГ-1500 (100 г*л⁻¹). Так, активність КАТ у 3- та 7-добових колеоптилях кукурудзи за водного дефіциту зростала в 1,8 та 1,4

раза ($P \leq 0,05$), відповідно. Різкий стрибок активності КАТ у коренях зафіксовано при зростанні активності 1 у 13,7 та 12,3 рази ($P \leq 0,05$) (рис. 1.3.4).

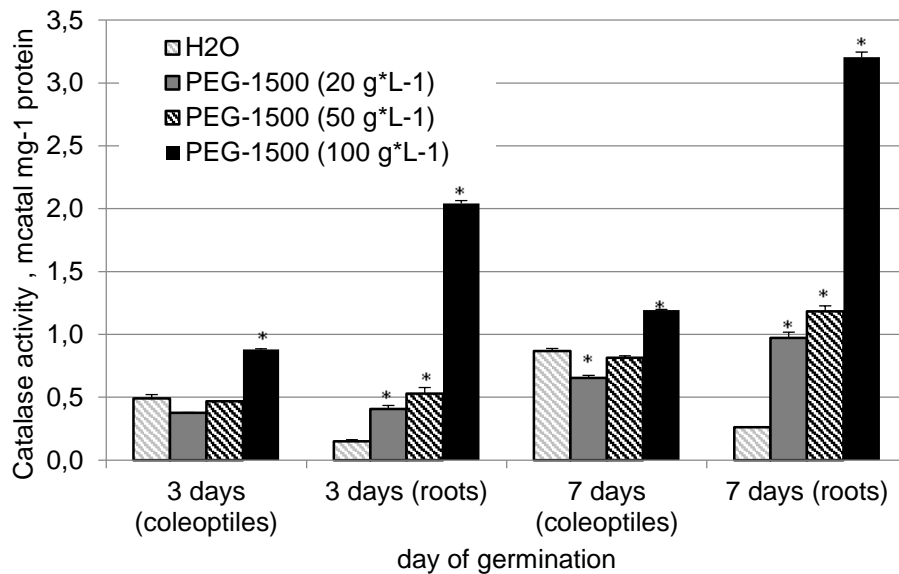


Рисунок 1.3.4. Активність каталази в колеоптилях та коренях кукурудзи за водного дефіциту.

Рослини мають здатність уникати окислювального стресу і можуть ефективно поглинати шкідливі АФК шляхом підвищення активності антиоксидантних ферментів, не лише каталази, але й СОД, ПОЛ та АПХ [12] повідомили про вищий рівень КАТ у проростках кукурудзи, що зазнали посухи, який координується з активністю СОД, ПОХ. Численні дослідження повідомляють, що вищі рівні антиоксидантів пов'язані зі стійкістю рослин до посухи [13].

Ймовірно, одним із домінуючих регуляторів процесів ПОЛ у кореневій системі є каталаза або пероксидаза, тоді як у надземній частині рослини регуляція процесів пероксидації здійснюється низькомолекулярними антиоксидантами. Надмірна активація КАТ у коренях кукурудзи порівняно з колеоптилями дозволяє утримувати вміст TBARS у коренях на нижчому рівні, ніж у колеоптилях, за умов модельного водного дефіциту. Подібну активацію КАТ зафіксовано і в модельних експериментах з водним дефіцитом рослин.

Існує високий кореляційний зв'язок між вмістом продуктів пероксидації та активністю КАТ у колеоптилях ($r = 0,85$) і коренях ($r = 0,89$) 3- і 7-добових проростків кукурудзи. Аналіз цих залежностей вказує на те, що за водного дефіциту адаптаційна реакція коренів була активнішою, ніж колеоптилів.

Вплив будь-яких зовнішніх факторів відображається на білковому обміні в рослинах, який пов'язаний з ферментами АЛТ і АСТ. Аланінамінотрансфераза каталізує оборотну реакцію перетворення аланіну і 2-оксоглутарату в піруват і глутамат. Аспартатамінотрансфераза каталізує оборотне перенесення α -аміногрупи між аспартатом і глутаматом. Активність амінотрансфераз в ендоспермі насіння кукурудзи зростала протягом першого дня проростання. Активність АЛТ насіння зросла в 2,65 рази, а АСТ - в 1,58 рази (рис. 1.3.5).

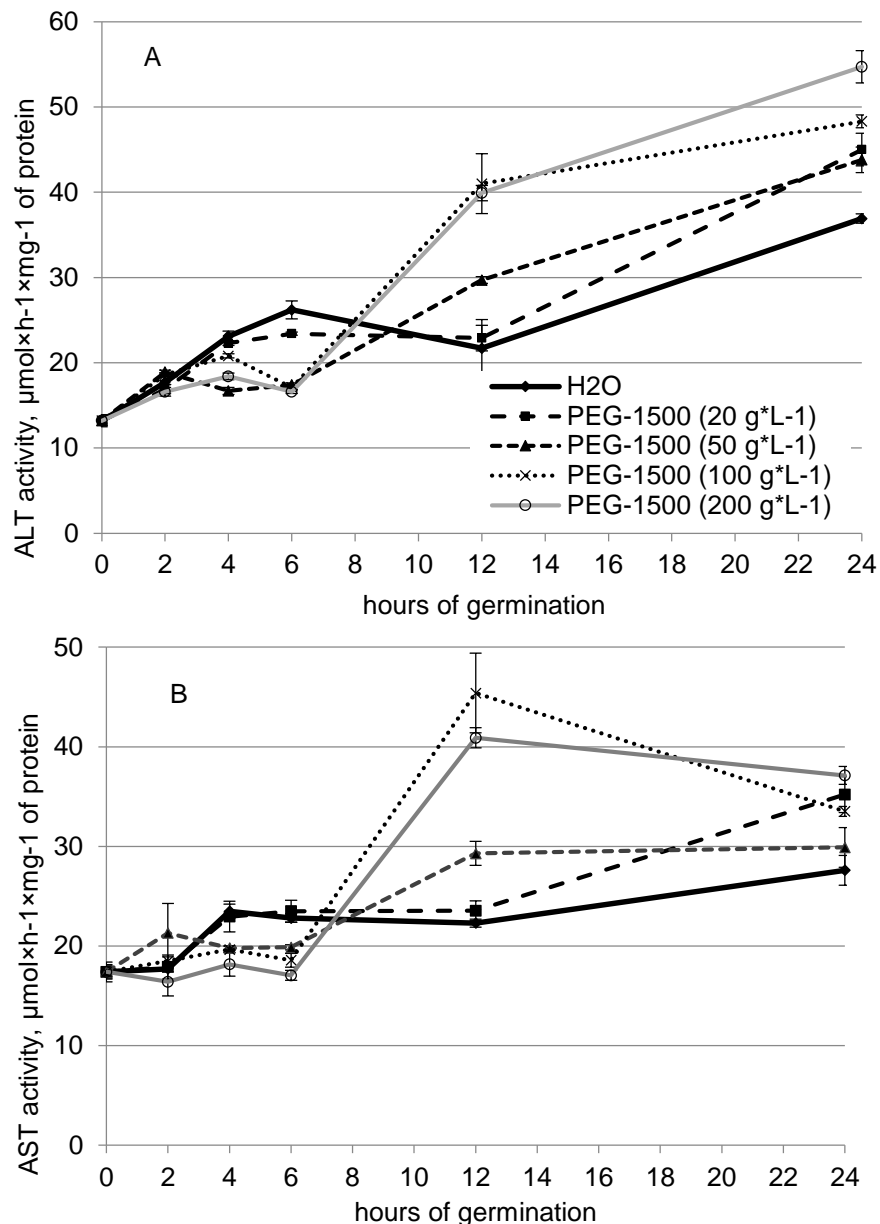


Рисунок 1.3.5. Активність аланінамінотрансферази (А) та аспартатамінотрансферази (Б) у пророслому насінні кукурудзи за водного дефіциту. Вертикальна лінія - стандартна похибка середнього значення.

Активність амінотрансфераз за водного дефіциту була дещо нижчою за контрольні показники у фазу набубнявіння насіння. У наступній фазі кільцювання насіння починається інтенсивний поділ і розтягнення зародкових клітин, що супроводжується зростанням активності амінотрансфераз ендосперму насіння за умов водного дефіциту. Причому зростання активності АЛТ і АСТ ендосперму кукурудзи мало пряму кореляцію з осмотичним потенціалом розчинів ПЕГ-1500 протягом 12- і 24-годинного періодів проростання насіння. Відмічено тісний кореляційний зв'язок ($r = 0,76 \div 0,98$) між активністю АСТ та АЛТ ендосперму насіння кукурудзи протягом першої доби проростання.

Отримані дані свідчать про те, що експозиція проростків спричиняла суттєве зростання активності АЛТ за умов модельного водного дефіциту (рис. 1.3.6).

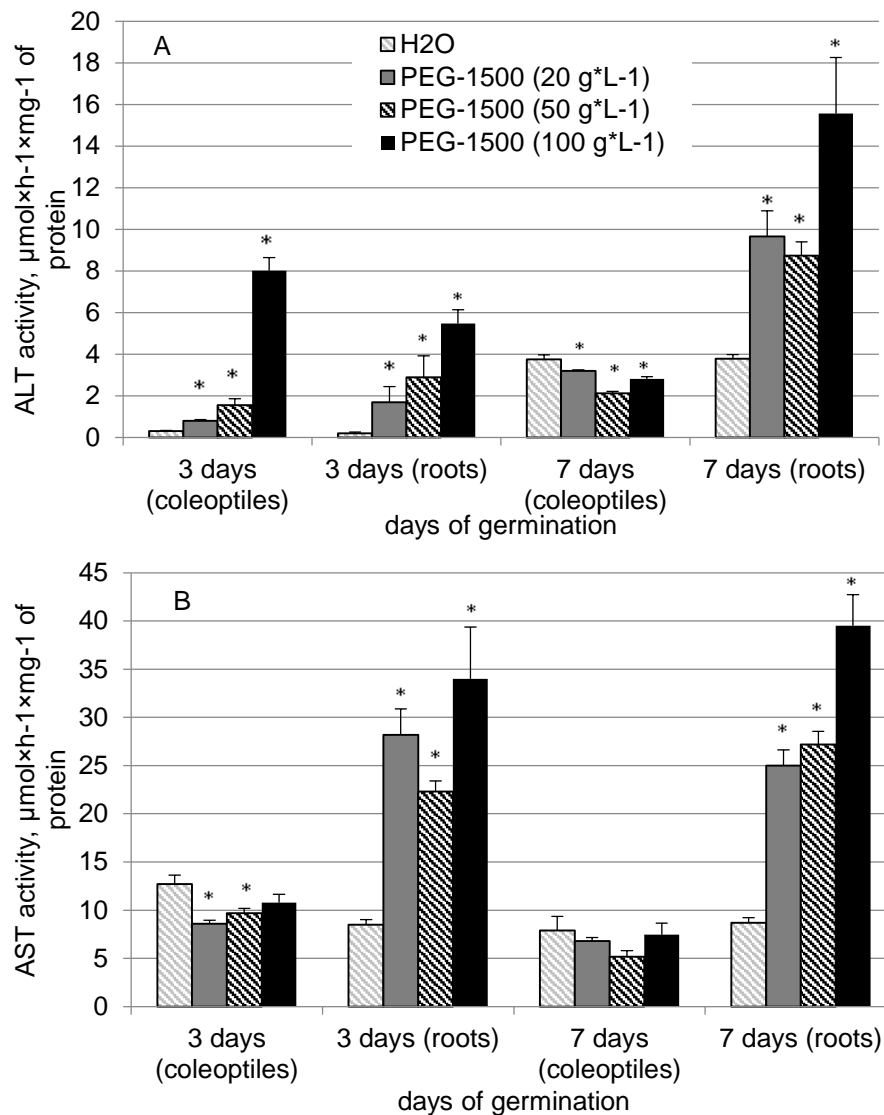


Рисунок 1.3.6. Активність аланінамінотрансферази (А) та аспаратамінотрансферази (Б) у колеоптилях та коренях кукурудзи за водного дефіциту. Вертикальна лінія - стандартна похибка середнього значення; * порівняно з контролем (H₂O обробка) (P < 0,05).

Найактивніша стимуляція активності АЛТ у 3-денних колеоптилях кукурудзи спостерігалась у 25,8 раза, а в коренях - у 27,4 раза за інкубації в розчині ПЕГ-1500 (100 г·л⁻¹). Слід зазначити, що активність АЛТ залишається високою в коренях кукурудзи в 4,1 рази, порівняно з контрольними проростками через 7 днів пророщування насіння за водного дефіциту, тоді як у колеоптилі виявлено деяке пригнічення активності цього ферменту. Піровиноградна кислота, яка утворюється під час реакції АЛТ, є необхідним субстратом для глюконеогенезу, тому активація цього ферменту сприяє активації синтезу вуглеводів, необхідних для подальшого росту коренів.

Накопичення глутамату є наслідком підвищення активності трансаміназ, що дозволяє спрямувати метаболічні перетворення на утворення проліну, який разом з вуглеводами є важливим осмопротектором в умовах водного стресу.

Активність АСТ у 3- та 7-денних коренях кукурудзи, інкубованих у розчинах ПЕГ-1500, значно перевищувала її активність у коренях контрольних проростків. Так, активність АСТ у коренях зростала у 2,9-3,3 рази навіть за дії розчину ПЕГ-1500 (20 г/л). Максимальна активація АСТ у 4,0-4,6 рази спостерігалась у коренях кукурудзи при інкубації в 10% розчині ПЕГ. Проте стимуляція ферментативної активності АСТ у колеоптилях кукурудзи за водного стресу не спостерігалася і залишалася на рівні контролю. У тижневих коренях кукурудзи спостерігався тісніший кореляційний зв'язок між активністю АЛТ і АСТ ($r = 0,97$), ніж у колеоптилях ($r = 0,76$) за дії водного дефіциту різної сили.

АЛТ і АСТ відіграють ключову роль у метаболізмі аланіну, аспартату і глутамату, з яких синтезуються аспарагін і глутамін. Тому підвищення їх активності є необхідною умовою для накопичення амідного пулу як донорів NH_4^+ для синтезу білків [14]. У насінні кукурудзи бракує достатньої кількості нітратів, тому аспарагін і глутамін можуть бути єдиним джерелом амонію під час проростання. З іншого боку, кетокислоти, які утворюються в реакціях трансамінування, також потрібні для оновлення пулу вільних амінокислот і необхідні для росту та розвитку проростків.

Цей факт підтверджується морфометричними показниками проростків кукурудзи. Водний дефіцит негативно впливав на проростання насіння кукурудзи, тому енергія проростання та лабораторна схожість насіння знижувалися монотонно і відповідно до зростання осмотичного потенціалу інкубованого розчину. Найсуттєвіше зниження енергії проростання кукурудзи на 56,1% та лабораторної схожості на 50,0% спостерігалось за дії ПЕГ-1500 ($100 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$) (табл. 1.3.4).

Таблиця 1.3.4. Схожість насіння та біометричні параметри колеоптилів і коренів кукурудзи за водного дефіциту, (середнє \pm SE)

Лікування	Енергія проростання, %.	Лабораторна схожість, %.	Сира маса 100 наважок, г		Довжина колеоптилів, см
			колеоптилі	коріння	
контроль Н О ₂	86.40 \pm 3.24	94.17 \pm 0.83	10.56 \pm 0.08	13.36 \pm 1.84	3.58 \pm 0.09
ПЕГ-1500 (20 г-л) ⁻¹	87.78 \pm 3.04	93.33 \pm 1.36	7.97 \pm 0.93*	14.12 \pm 1.80	3.04 \pm 0.12
ПЕГ-1500 (50 г-л) ⁻¹	74.44 \pm 3.77*	81.67 \pm 2.15*	2.77 \pm 0.10*	7.70 \pm 0.51*	1.31 \pm 0.02*
ПЕГ-1500 (100 г-л) ⁻¹	30.28 \pm 6.14*	44.17 \pm 2.85*	1.70 \pm 0.30*	3.12 \pm 0.05*	0.48 \pm 0.03*

Посуха, спричинена ПЕГ, зумовлена осмотичним стресом, який виникає через його вищу молекулярну масу, ніж у будь-яких інших подібних сполук. Насіння кукурудзи, вирощене на розчині ПЕГ-1500 (200 г*л^{-1}), взагалі не зійшло, хоча спостерігалось набрякання насіння. Слід зазначити, що подібний факт було зафіксовано і при використанні ПЕГ-6000 [15].

Виявлено осмотично залежне пригнічення ростових процесів у проростків кукурудзи за водного дефіциту. Якщо сира маса колеоптилів кукурудзи зменшується на 24,5% під впливом розчину ПЕГ-1500 (20 г*л^{-1}), то сира маса коренів зменшується на 42,4% лише при інкубації з розчином ПЕГ-1500 (50 г*л^{-1}). Розчин з дефіцитом води призводить до зменшення сирої маси колеоптиля в 6,2 рази, а сирої маси кореня в 4,3 рази при використанні ПЕГ-1500 (100 г*л^{-1}).

Результати дослідження свідчать про негативну кореляцію між інтенсивністю проростання насіння кукурудзи та інтенсивністю пероксидного окиснення, накопиченням проліну та активністю ензимів.

ВИСНОВКИ

У висновку спостерігали розвиток окислювального стресу за умов модельного водного дефіциту у проростків кукурудзи. Найактивніше інгібування процесу намокання (до 7,5%) спостерігалось у насінні, яке проростало в розчині ПЕГ-1500 (200 г*л^{-1}). З наведених вище результатів можна зробити висновок, що рівень TBARS в ендоспермі насіння, коренях та колеоптилях кукурудзи був вищим за дії водного стресу. Вміст проліну в насінні, коренях і колеоптилях кукурудзи максимально перевищував контрольні значення за використання ПЕГ- 1500 (100 і 200 г*л^{-1}). Підтверджено, що активація каталази в колеоптилях у 1,4- 1,8 рази та коренях проростків кукурудзи в 12,3-13,7 рази зростала за водного дефіциту. Активність АЛТ і АСТ у насінні та коренях кукурудзи значно перевищувала їхню активність у контрольних проростках за дії ПЕГ-1500. Ці зміни слід розглядати як адаптивну стратегію до водного дефіциту.

Результати також показують, що зі збільшенням рівня водного стресу зменшується відсоток схожості, сира маса колеоптилів і коренів, а також довжина колеоптилів кукурудзи. Інтенсивність ростових процесів кукурудзи на ранніх етапах розвитку корелює з рівнем водного дефіциту. Загалом, максимальне зниження схожості, довжини колеоптиля, сирої маси кореня та колеоптиля спостерігалось за найвищого водного стресу.

Результати цього дослідження показують, що необхідні подальші дослідження для визначення реакції рослин на екологічні стреси, оскільки рослини живуть одночасно під впливом численних стресових факторів у природних біотопах або на полях.

Література

1. Horváth É., Gombos B. and Széles A. 2021. Evaluation phenology, yield and quality of maize genotypes in drought stress and non-stress environments *Agronomy Research* 19(2), 408–422. doi.org/10.15159/AR.21.073
2. Kolesnikov, M., Paschenko, Y., Ninova, H., Kapinos, M., & Kolesnikova, A. 2019. Effect of Preparations Methyure (6-Methyl-2-Mercapto-4-Hydroxypyrimidine) on Corn (*Zea Mays* L.) Biological Productivity Under Saline Soil Conditions. In Nadykto V. (eds): *Modern Development Paths of Agricultural Production*. Springer, Cham. 719–728. doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5_70
3. Hunter, M. C., Kemanian, A. R., & Mortensen, D. A. 2021. Cover crop effects on maize drought stress and yield. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 311, 107294. doi.org/10.1016/j.agee.2020.107294
4. Mazhar, T., Ali, Q., Malik, M.S.R.A. 2020. Effects of salt and drought stress on growth traits of *Zea mays* seedlings. *Life Science Journal* 17(7), 48–54. doi.org/10.7537/marslsj170720.08.
5. International Seed Testing Association. 2014. International Rules for Seed Testing. 2014 edition. *Zürich (CH)*.
6. Badr, A., El-Shazly, H.H., Tarawneh, R.A., Börner, A. 2020. Screening for drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) germplasm using germination and seedling traits under simulated drought conditions. *Plants* 9(5), 565. doi.org/10.3390/plants9050565
7. Killi, D., Raschi, A., Bussotti, F. 2020. Lipid peroxidation and chlorophyll fluorescence of photosystem II performance during drought and heat stress is associated with the antioxidant capacities of C3 sunflower and C4 maize varieties. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(14), 4846. doi.org/10.3390/ijms21144846
8. Hosseinifard, M., Stefaniak, S., Ghorbani Javid, M., Soltani, E., Wojtyła, Ł., & Garnczarska, M. 2022. Contribution of exogenous proline to abiotic stresses tolerance in plants: a review. *International Journal of Molecular Sciences* 23(9), 5186. doi.org/10.3390/ijms23095186
9. Raymond, M. J., & Smirnoff, N. 2002. Proline metabolism and transport in maize seedlings at low water potential. *Annals of botany* 89(7), 813–823. doi.org/10.1093/aob/mcf082.
10. Verslues, P. E., & Sharma, S. 2010. Proline metabolism and its implications for plant–environment interaction. *The Arabidopsis Book/American Society of Plant Biologists* 8. doi.org/10.1199/tab.0140.
11. Mafakheri, K., Valizadeh, M., & Mohammadi, S. A. 2019. Banding Patterns Activity of Antioxidant Enzymes and Physiological Attributes in Maize (*Zea mays* L.) Families under Water Deficit Stress. *Journal of Agricultural Science and Technology* 21(5), 1249–1264.
12. Moharramnejad, S.A., Sofalian, O., Valizadeh, M., Asghari, A., Shiri, M., & Ashraf, M.U. 2019. Response of maize to field drought stress: oxidative defense system, osmolytes' accumulation and photosynthetic pigments. *Pak. J. Bot.* 51(3), 799-807. doi.org/10.30848/PJB2019-3(1)

13. Ashraf U., Salim M. N., Sher A., Sabir S. R., Khan A., Pan S. G. 2016. Maize growth, yield formation and water–nitrogen usage in response to varied irrigation and nitrogen supply under semi–arid climate. *Turk. J. Field Crops* 21(1), 87–95. doi.org/10.17557/tjfc.93898
14. Beatty, P. H., Carroll, R. T., Shrawat, A. K., Guevara, D., & Good, A. G. 2013. Physiological analysis of nitrogen–efficient rice overexpressing alanine aminotransferase under different N regimes. *Botany* 91(12), 866–883. doi.org/10.1139/cjb–2013–0171.
15. Raj, R.N., Gokulakrishnan, J., Prakash, M. 2020. Assessing drought tolerance using PEG-6000 and molecular screening by SSR markers in maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Maydica* 64(2), 1-7.

Список публікацій за розділом 1.3.1.

1. Kolesnikov M., Gerasko T., Paschenko Yu., Pokoptseva L., Onyschenko O., Kolesnikova A. Effect of water deficit on maize seeds (*Zea mays* L.) during germination. *Agronomy Research*, 2023. 21(1), P. 156–174. doi.org/10.15159/AR.23.016
2. Gerasko T., Kolesnikov M., Nezhnova N., Ninova G., Alekseeva O., Kovtuniuk Z. Activity of antioxidant enzymes and malondialdehyde content in sweet cherry fruits under living mulch conditions. *Zemdirbyste-Agriculture*, 2023, Vol. 110, No. 1. P. 65-70. doi.org/10.13080/z-a.2023.110.009
3. Onyshchenko, O., Pokoptseva, L., Kolesnikov, M., & Gerasko, T. (2023). Photosynthetic activity of sunflower hybrids under growth regulators in the Steppe of Ukraine. *Scientific Horizons*, 26(6), 58-70. doi: 10.48077/scihor6.2023.58
4. Колесніков М.О., Пащенко Ю.П. Вплив сольового стресу на процеси пероксидації та окисної модифікації білків при проростанні сої. *Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю, присвячена 95-річчю навчально-дослідної агробіостанції Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя. Збірник статей.* (м. Ніжин, 27-28 вересня 2023 року). Ніжин: НДУ, 2023. С. 54-57.
5. Колесніков М., Пащенко Ю. Вплив екзогенного токоферолу на формування врожайності гороху посівного. *Актуальні питання виробництва продукції рослинництва та садівництва: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції* (м. Запоріжжя, 8 листопада 2023 р.). Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. С. 17-19.
6. Ліхошерст М., Колесніков М. Вплив стреспротекторних препаратів на врожайність кукурудзи в умовах дефіцитного вологозабезпечення. *Актуальні питання виробництва продукції рослинництва та садівництва: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції* (м. Запоріжжя, 8 листопада 2023 р.). Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. С. 20-22.
7. Kolesnikov M. The germination of pea plants under the pre-sowing tocoferol treatment. *Актуальні питання виробництва продукції рослинництва та*

- садівництва: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Запоріжжя, 8 листопада 2023 р.). Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. С. 70-72.
8. Пащенко Ю., Колесніков М. Вплив екзогенного токоферолу на формування листкового апарату посівів гороху. *Актуальні питання виробництва продукції рослинництва та садівництва: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції* (м. Запоріжжя, 8 листопада 2023 р.). Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. С. 80-82.
 9. Колесніков М., Пащенко Ю. Формування бобово-ризобіального симбіозу гороху посівного за дії комплексних регуляторів росту та в умовах Південного Степу України. [*Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти: збірник матеріалів VI Міжнародної науково-практичної конференції*](#), 15 березня 2023 р., Науково-методичний центр ВФПО. Київ, 2023. С. 28-32.
 10. Токарев О. О., Радюк Ю. В. Врожайність гороху посівного при використанні ризогуміну та біостимуляторів в умовах Південного Степу України. [*Матеріали X всеукраїнської науково-технічної конференції здобувачів вищої освіти за підсумками наукових досліджень 2022 року*](#). Факультет агротехнологій та екології (5-20 лютого 2023 р., Запоріжжя) / Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. С. 142-143.
 11. Мишук Д. О. Вплив ризогуміну та його комплексів з біостимуляторами на формування бобово-ризобіального симбіозу рослин гороху посівного. [*Матеріали X всеукраїнської науково-технічної конференції здобувачів вищої освіти за підсумками наукових досліджень 2022 року*](#). Факультет агротехнологій та екології (5-20 лютого 2023 р., Запоріжжя) / Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. С. 91-93.