НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет захисту рослин, біотехнології та екології

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
Фізіології, біохімії та
біоенергетики
_____Світлана ПРИЛУЦЬКА

«__» _____2025 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Оцінка дії гідролізату дріжджів на фізіолого-біохімічні показники *Zea mays*»

Спеціальність: 162 «Біотехнології та біоінженерія

Гарант освітньої програми
Кандидат біологічних наук, доцент
кафедри екобіотехнології
та біорізноманіття _____ Олена КВАСКО
(підпис)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи
Кандидат сільськогосподарських
наук, доцент кафедри фізіології,
біохімії рослин та біоенергетики _____ Наталія НЕСТЕРОВА
(підпис)

Виконала _____ Софія-Ксенія КОНОВАЛЕНКО
(підпис)

КИЇВ-2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет захисту рослин, біотехнології та екології
Кафедра фізіології, біохімії рослин та біоенергетики

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри фізіології,

біохімії рослин та біоенергетики
_____Світлана ПРИЛУЦЬКА
"____" _____**2025 р.**

З А В Д А Н Н Я
ДО ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Коноваленко Софії-Ксенії Володимирівни
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «*Оцінка дії гідролізату дріжджів на фізіолого-біохімічні показники Zea mays*»

Керівник роботи к.с-г.н., доцент Нестерова Н. Г.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

2. Строк подання студентом роботи 20 травня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: гібрид кукурудзи ДКС 315 ФАО 310; гідролізат дріжджів.

4. Перелік питань, які потрібно розробити:
4.1. Одержання об'єктів дослідження: посів рослин кукурудзи *Zea mays*;
4.2. Проведення морфометричного дослідження рослин кукурудзи *Zea mays*;
4.3. Визначення вмісту фотосинтетичних пігментів у листках рослин кукурудзи *Zea mays*;
4.4. Визначення вмісту пероксидази у листках рослин кукурудзи *Zea mays*.

Дата видачі завдання 1 вересня 2024 року.

Керівник кваліфікаційної роботи _____ **Нестерова Н. Г.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____ **Коноваленко С. В.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи на тему «Оцінка дії гідролізату дріжджів на фізіолого-біохімічні показники *Zea mays*» містить 54 с., 55 джерел літератури, 29 рис., 7 табл., 2 формули, 1 додаток.

Мета дослідження: визначити вплив дріжджового гідролізату на фізіолого-біохімічні показники кукурудзи *Zea mays L.*

Обєкт дослідження: рослини кукурудзи *Zea mays L.* Гібриду ДКС 315 ФАО 310.

Предмет дослідження: біостимулятор протеїновий гідролізат пивних дріжджів.

Результати дослідження:

1. Аналіз наукової літератури підтвердив позитивний вплив дріжджового екстракту на фізіолого-біохімічні показники різних сільськогосподарських культур.
2. Для дослідження обрано гібрид кукурудзи ДКС 315 ФАО 310.
3. Невисокі концентрації дріжджового гідролізату позитивно впливають на схожість насіння, тоді як високі норми витрату препарату пригнічують ріст проростків на перших етапах розвитку.
4. Застосування гідролізату дріжджів впливає на морфометричні показники кукурудзи, але високі концентрації препарату модуть призводити до пригнічення росту та зменшення біомаси
5. Аналіз вмісту фотосинтетичних пігментів показав позитивний вплив гідролізату протеїнових дріжджів на підтримку збалансованого співвідношення хлорофілів та каротиноїдів, проте комбіноване внесення препарату призводило до зменшення кількісних показників пігментів фотосинтезу.
6. Аналіз активності пероксидази у листках кукурудзи демонстрував збільшення активності ферменту при застосуванні гідролізату дріжджів при застосуванні внесення із фертигацією та позакореневого внесення.

ЗМІСТ

ВСТУП 7

РОЗДІЛ 1. АСПЕКТИ ДІЇ ГІДРОЛІЗАТУ ДРІЖДІВ НА ФІЗІОЛОГО-БІОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ *ZEA MAYS* 9

1.1 Ботанічний опис кукурудзи *Zea mays* 9

1.2 Білкові гідролізати як біостимулятори та добрива для рослин .. 12

1.2.1 Загальні відомості про склад та джерела походження РН 12

1.2.2 Властивості РН як біостимуляторів росту рослин та способи їх внесення у рослини 14

1.3 Характеристика дріжджового гідролізату (YH) та його вплив на ріст рослин 16

1.3.1 Загальна характеристика пивних дріжджів як джерела для РН 16

1.3.2 Властивості та вплив YH на фізіолого-біохімічні показники рослин 18

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ 21

2.1 Об’єкт дослідження 21

2.2 Методи дослідження 21

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ 29

3.1 Оцінка енергії проростання та потенційної схожості насіння кукурудзи 29

3.2 Оцінка морфометричних показників кукурудзи у субстраті 31

3.2.1 Динаміка росту рослин кукурудзи у субстраті 31

3.2.2 Морфометричні показники рослин кукурудзи у субстраті 34

3.3 Оцінка вмісту фотосинтетичних пігментів у листках кукурудзи 40

3.3.1 Динаміка SPAD рослин у субстраті 40

3.3.2 Вміст фотосинтетичних пігментів в листках кукурудзи у субстраті 42

3.4 Оцінка пероксидазної активності рослин кукурудзи 45

ВИСНОВКИ 47

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 48

ДОДАТКИ 55

ВСТУП

Гідролізат дріжджів є перспективною альтернативою хімічним добривам рослин, що вирізняється екологічною безпекою і доступністю. Завдяки цьому, а також стимулюючим властивостям росту різних груп рослин, дріжджові гідролізати та білкові гідролізати загалом здобули застосування в агрономії. Комплекси біоактивних речовин, що містяться у складі гідролізату дріжджів, здатні оптимізувати процеси росту та розвитку рослин, мінімізувати негативний вплив факторів навколишнього середовища.

Кукурудза (*Zea mays L.*) є однією із найважливіших зернових культур у світовому землеробстві. Зважаючи на її значне поширення та провідну роль на внутрішньому та зовнішньому економічному ринку України, постає питання можливості підвищити її продуктивність за допомогою біологічних стимуляторів росту. Саме тому дослідження ефективності дріжджового гідролізату для покращення фізіологічного та фізіолого-біохімічного стану кукурудзи є актуальним і має практичне значення.

Мета дослідження: визначити вплив дріжджового гідролізату на фізіолого-біохімічні показники кукурудзи *Zea mays L.*

Щоб досягнути поставлену мету, поставлені наступні завдання:

1. Провести теоретичний огляд наукової літератури щодо ознак *Zea mays L,* впливу гідролізату дріжджів на різні сільськогосподарські культури, зокрема злакові.
2. Отримати обєкти дослідження: виростити рослини кукурудзи *Zea mays L*. Обраного гібриду.
3. Визначити вплив гідролізату дріжджів на схожість насіння кукурудзи.
4. Провести морфометричні дослідження рослин кукурудзи при різних способах обробок різними концентраціями гідролізату дріжджів.

5. Визначити вміст фотосинтетичних пігментів у листках рослин кукурудзи при застосуванні різних способів внесення різних концентрацій препарату дріжджового гідролізату.
6. Оцінити активність пероксидази у рослинах кукурудзи під впливом різних концентрацій гідролізату дріжджів за різних способів внесення.

Об'єкт дослідження: рослини кукурудзи *Zea mays L.* Гібриду ДКС 315 ФАО 310.

Предмет дослідження: біостимулятор протеїновий гідролізат пивних дріжджів.

Методи дослідження: фізіологічні, біохімічні, статистичний аналіз.

РОЗДІЛ 1. АСПЕКТИ ДІЇ ГІДРОЛІЗАТУ ДРІЖДІВ НА ФІЗІОЛОГО-БІОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ *ZEA MAYS*

1.1 Ботанічний опис кукурудзи *Zea mays*

Із наукової та комерційної точки зору кукурудза (Zea mays L. Corn) є важливим представником родини Злакових (Poaceae) та займає значне місце серед зернових культур. Рід *Zea* містить лише один великий вид – Z. mays, та входить до триби Соргових (Andropogonae), підтриби сакумових (*Tripsacinae*) [54].

Кукурудза є однодомною рослиною, тобто чоловічі та жіночі репродуктивні органи розташовані на одній рослині, але в різних суцвіттях. Чоловіче суцвіття – волоті, знаходяться на верхівці стебла, зазвичай ростуть парами, один з яких сидячий, а інший – на квітконіжці. Волоть складається із великої кількості із великої кількості дрібних колосків, які мають тичинки, що виробляють пилок. Кожна волоть містить близько двадцяти п’яти мільйонів пилкових зерен, що забезпечує ефективне запилення вітром. Жіноче суцвіття – качан, розташований в пазусі листка. Качан складається із товстої осі, на якій дуже щільно розміщені одностатеві квітки. Кожна квітка має довгу шовковисту волосинку на зав’язі, яка виступає із обгорток качана і здатна вловлювати пилок. Кожен качан кукурудзи містить понад тисячу потенційних зернівок, що забезпечує високий рівень врожайності [49].

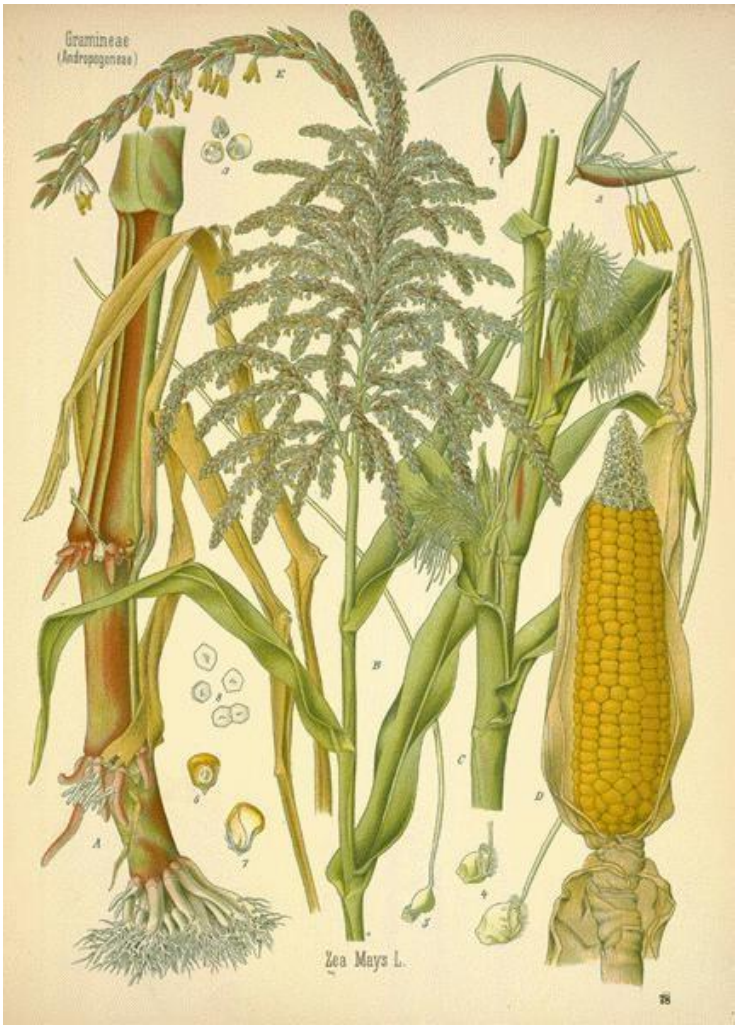

Рисунок 1.1. Морфологічна будова *Zea mays* [12]

Плодом кукурудзи є зернівка. Залежно від сорту, зернівки на качані можуть мати різне забарвлення (жовте, біле, червоне, фіолетове) та форму, що визначає їх використання у різних галузях. Кукурудзяна зернівка складається з трьох частин: перикарпію, або тонкої оболонки, ендосперму – органу зберігання поживних речовин, і зародка. *Zea mays* відрізняється високою продуктивністю та адаптивністю до різних агроекологічних умов, що зумовлює її широке застосування у світовому сільському господарстві [11].

Різні підвиди кукурудзи мають значні відмінності у складі зерна, зокрема у співвідношенні білків та крохмалю, а також у якісних характеристиках крохмалю, а саме вмісті амілази. Ключовими ознаками для ідентифікації різних підвидів є характер розвитку борошнистої та роговидної частин ендосперму зерна: зубовидний підвид характеризується великим сплющеним

зерном із вм’ятиною, здебільшого борошнистим ендоспермом та високим вмістом крохмалю (68-75,5%); кремнистий підвид має округлу зернівку із скловидним ендоспермом, нижчим вмістом крохмалю (до 73%) та високим рівнем стійкості до холоду; розлусний підвид відрізняється зерном із скловидним ендоспермом, що при нагріванні здатним розтріскуватися; крохмалистий підвид має рихлий борошнистий ендосперм та найвищим вмістом крохмалю (71,5-82%); цукровий підвид має зморшкувате зерно із низьким вмістом крохмалю, натомість високим умістом цукрів; крохмалисто-цукровий підвид поєднує властивості борошнистого та цукрового ендосперму; плівчастий підвид не має виробничого значення через затиснуте у розвинені луски зерно; напівзубовидний підвид є результатом схрещування кременистої та зубовидної кукурудзи; восковидний характеризується восковидним крохмалем та клейким крохмалем [54].

Коренева система кукурудзи є мичкуватою, з інтенсивним розгалуженням, що дозволяє їх проникати в ґрунт на значну глибину та досягати 2-3 метри. Вона складається із основного кореню, який утворюється із зародкового корінця насіння, бічних корінців, що відходять від нижніх вузлів стебла, та повітряних коренів, що розвиваються на нижніх вузлах стебла, аби забезпечити додаткову підтримку, особливо в умовах вітрової ерозії. Значна маса кореневої системи розташована у верхньому шарі ґрунту, тому рослина є залежною від достатнього зволоження у цій зоні [52]

Стебло кукурудзи має пряме циліндричну форму із чітко вираженими вузлами та міжвузлями. Завдяки специфічній будові тканин має високу міцність, яка формує стійкість до вилягання. Серцевина стебла заповнена пухкою тканиною, яка забезпечує рослину необхідною кількістю води та поживних речовин, також сприяє транспортуванню сполук. У залежності від сорту, умов вирощування та густоти посіву, висота стебла коливається від 60 см до 5-6 м. Кількість міжвузлів коливається від 8-12 у ранньостиглих сортів

до 30-40 і більше у пізньостиглих. Стебла кукурудзи можуть мати від 8 до 48 листків і кілька качанів [50].

Листки кукурудзи великі, лінійно-ланцетні, з паралельним жилкуванням. Листки прикріплюються до стебла за допомогою піхви, яка охоплює стебло нижче вузла та забезпечує додаткову підтримку. Листкова пластина має шорстку поверхню та хвилясті краї, що сприяє ефективному фотосинтезу та зменшує втрати вологи рослиною. Розташування листків почергове, що оптимізує використанню сонячного світла всією рослиною [50].

1.2 Білкові гідролізати як біостимулятори та добрива для рослин

1.2.1 Загальні відомості про склад та джерела походження РН

Протеїнові гідролізати, відомі як РН, є сумішшю амінокислот (АА), олігопептидів та інших пептидів, що утворились у результаті розщеплення різних джерел білка. Амінокислоти (АА) – це основні компоненти у складі РН, що можуть бути присутніми у вільній або довільній формах пептидних ланцюгів [30].

Склад АА та протеїнів у кожному РН залежить від процесу виробництва та ступеню гідролізу, що означає розщеплення білків. У виробництві застосовують хімічний та ферментативний гідролізи білків. Хімічний гідроліз можна здійснювати двома способами: кислотами та лугами. РН, одержаний хімічним гідролізом за допомогою кислот, утворюються при високій температурі і тиску (понад 121°C та 220 кПа відповідно) протягом 2-8 годин, тому через особливості процесу, містить у своєму складі відносно невелику кількість пептидів та високий вміст вільних АА, концентрація білка до 60%. Деякі АА, такі як триптофан, серин, цистеїн та треонін зазнають часткового руйнування або ж втрачають біоактивність змінюючи L-форму в D-форму при гідролізі кислотами, а аспарагін та глутамін перетворюються на аспарагінову та глутамінову кислоту відповідно. До недоліків кислотного гідролізу відносять високий вміст солей, руйнацію певних АА, деградацію термолабільних сполук, зокрема вітамінів. Лужний гідроліз є простим

процесом нагрівання білка до розчинення із подальшим додаванням лужних регентів (гідроксиди кальцію, натрію і калію). Перевагою над кислотним гідролізом є нижчі температури процесу (25-55 °C) протягом кількох годин, однак такі умови теж призводять до часткової деградації серинових і треонінових АА [8, 9, 30, 37].

Натомість ферментативний гідроліз білку, що відбувається за допомогою протеаз, забезпечує вищий рівень контроль над кінцевим продуктом, потребує менших затрат енергії, та дозволяє багаторазово використовувати ферменти. Процес проводиться у контрольованих умовах, що дозволяє досягнути цільового ступеня гідролізу та контролювати розщеплення пептидів специфічними ензимами. Таким чином, можна отримати максимальний вихід пептидів чи олігопептидів із визначеними фізико-хімічними характеристикам. Одержані РН можуть містити невелику кількість сполук, зокрема вуглеводів, фенолів, фітогормонів тощо [6, 9, 30, 37].

Більшість характеристик РН залежать від типу протеази при гідролізі, в тому числі і біостимулюючі властивості. Для виробництва застосовують мікробні, рослинні та тваринні протеази – тип визначається оптимальними умовами для процесу гідролізу. У кислому середовищі (pH 2-5) зазвичай гідролізують білки аспарагіновими протеазами (пепсин тваринного походження, рослинний онопордозин), у нейтральному – цистеїновими (хімотрипсин, бромелайн і папаїн), у лужному – сериновими протеазами (кукумізин та трипсин). Мікробні протеази (флавурзим, субтилізин та термолізин) застосовують для обробки стічних вод, а рослинні протеази проявляють потенціал у біопереробці харчових відходів [30, 37].

РН в основному представленні продуктами розкладання білків тваринного (шкіра, органи, хутро, кров) або рослинного походження. РН, одержані ферментативним шляхом із рослин, зазвичай містять сигнальні пептиди, що є біоактивними сполуками. Натомість РН тваринного походження, що одержали за допомогою хімічного гідролізу, переважають за

вмістом вільних АА. РН, що одержують із побічної продукції сільського господарства та промисловості, є екологічно та економічно корисним вирішенням проблеми утилізації відходів [23, 37, 42].

Також до білків тваринного походження належать сполучна тканина корів, казеїн, пір'я. Рибна промисловість продукує близько 60% рибної біомаси побічних продуктів, що можуть слугувати джерелами для РН: шкірний колаген, плавці та хребти, голови, нутрощі та внутрощі. Останнім часом збільшується інтерес до використання комах, зокрема цвіркунів, та червів для гідролізу білку [37].

Серед рослинних джерел широкого застосування здобувають макуха гарбузових та зернових, насіння гарбузових, бобові (соя, люцерна тощо), досліджується використання листки деяких рослин. Не менш цікавим джерелом білка є водорості, що містять у своєму складі до 48% АА від загального вмісту протеїнів. РН на основі водоростей (наприклад, спіруліни), крім великої кількості триптофану та аргініну, можуть містить ще вітаміни, поліаміни, полісахариди тощо [3, 37, 46].

1.2.2 Властивості РН як біостимуляторів росту рослин та способи їх внесення у рослини

РН впливають на фітогормональну систему, що показово проявляється в умовах абіотичного стресу, коли вони здатні індукувати та збільшувати синтез гормонів: ауксинів, гіберелінів, абсцизинову кислоту, жасминову кислоту, саліцилову кислоту та етилен. Властивості РН як біостимуляторів росту рослин залежать від походження гідролізату та способу його внесення на рослину [23].

Вплив РН на основні фізіологічні процеси рослин наведено у Табл. 1.1.

Таблиця1.1.

Позитивна дія РН на фізіологічні процеси рослин

Фізіологічний процес	Дія РН	Примітка
Ріст та розвиток коренів	Ауксинподібна та гіберелінподібна активність, збільшення площі поверхні, сухої маси та довжини кореня, Активація транскрипційних факторів, диференціальна експресія компонентів клітинної стінки;	[37]
Ріст та розвиток пагонів	Збільшення біомаси та врожайності, накопичення попередника етилену, гіберелінподібна активність;	[37]
Поглинання та переміщення азоту	Збільшення поглинання N у формі АА та пептидів, транспорт через судинну систему, індукція змін у транскрипті транспорту;	[37]
Рівень вуглецю та азоту	Підвищення активності ферментів ЦТК та метаболізму N, взаємодія між шляхами метаболізму вуглецю та азоту, регуляція генів засвоєння N;	[37]
Фотосинтез	Збільшення чистої швидкості асиміляції діоксиду вуглецю, провідності продихів, швидкості транспірації, збільшеня вмісту хлорофілу, регулювання фотосинтетичного транспорту електронів та RuBisCo, регуляція гену, пов’язаного із білком фотосистеми II	[37]
Стресостійкість	Зменшення стресу рослин, підвищення стійкості до важких металів, водного дефіциту, сольового та теплового стресу, підвищення антиоксидантної властивості	[37]

РН мають декілька способів внесення у рослини: позакоренева обробка (обприскування листків), обробка з поливом (фертигіцією, ґрунтове внесення), обробкою насіння перед посадкою або навіть додавання до живильного розчину при вирощуванні рослин у гідропоніці (Рис. 1.) [37].

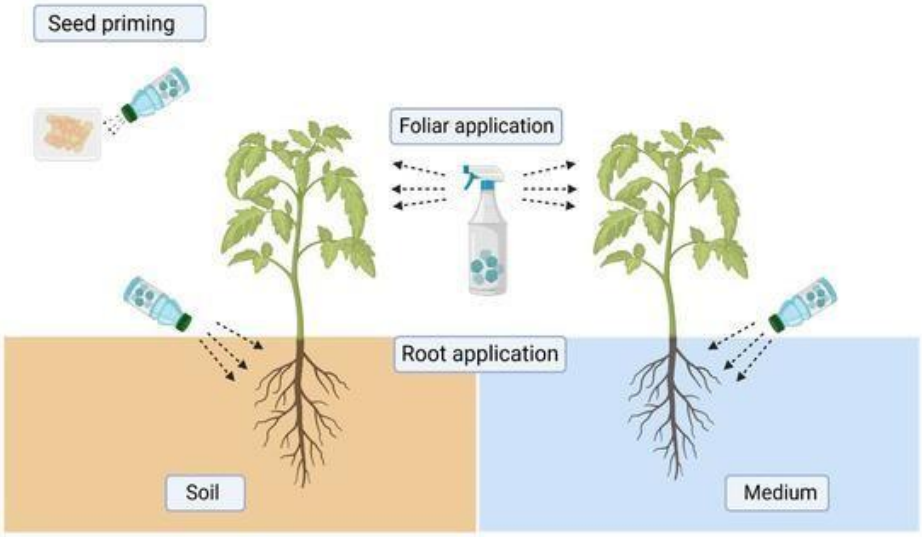

Рисунок 1.2. Різні способи застосування фосфатів на рослини [37]

Дія РН на рослини залежить від різних факторів, що змінюються від способу обробки рослини: засвоєння АА кореневою системою безпосередньо пов'язане із транспортними білками, тоді як поглинанням листям рослини відбувається пасивно і зазнає впливу від кліматичних чинників [37].

1.3 Характеристика дріжджового гідролізату (YH) та його вплив на ріст рослин

1.3.1 Загальна характеристика пивних дріжджів як джерела для РН

Saccharomyces cerevisiae – група одноклітинних грибів, що є еукаріотичними організмами. Існує понад 1300 штамів *S. cerevisiae* [36].

Вид *Saccharomyces cerevisiae* належить до царства Гриби (Fungi), відділу Аскомітові (*Ascomycota*), класу Сахароміцети (*Saccharomycetes*), родини *Saccharomycetaceae*, роду *Saccharomyces*. Saccharomyces cerevisiae характеризуються формою подібною до яйця, еліпсоїдною. Ядро чітко

визначене, так само, як й інші внутрішньоклітинні структури. Основний спосіб розмноження – брунькуванням, коли материнська клітина утворюю випин – бруньку, з якої розвивається дочірня клітина. Потім ця дочірня клітина відокремлюється. *S. cerevisiae* мають високу швидкість росту та розвитку, розмножуються, окрім брунькування, поділом та асками зі спорами за несприятливих умов [36, 48].

Згідно своєї фізіології *Saccharomyces cerevisiae* є хемоорганотрофами, що одержують карбон та енергію із органічних сполук. Потребують азот в доступних формах. Можуть дихати киснем, проте основним метаболічним шляхом у них є ферментація [48].

За лабораторних умов більшість штамів *S. cerevisiae* демонструють оптимальний ріст при 20-30 °С та pH 4,5-6,5 на різних поживних середовищах. При твердофазній ферментації утворюють гладкі, кремоподібні, білі або світло-жовті колонії [48].

Гриби розповсюдженні у природі, полюбляють теплі та помірні зони, де харчуються залишками тварин і рослин. *S. cerevisiae* можуть існувати на плодах, листі рослин, у ґрунті та кишковому тракті тварин. Вони є важливими учасниками екосистем. Гриби здобули широке застосування у виробництві завдяки здатності перетворювати цукор на вуглекислий газ і спирт. Крім цього, вони здатні у ході свого метаболізму синтезувати білок, жири, вітаміни та інші БАР. Різні морфологічні ознаки, зокрема форма, розмір клітин, наявність спор, можуть різнитись між штамами – їх використовують для класифікації у межах виду та поза ним. *Saccharomyces cerevisiae* легко пристосовуються до різноманітних середовищ, що сприяє їх застосуванню у промисловості, медицині та інших галузях [14, 22, 36,].

Отримані з відпрацьованих пивних дріжджів екстракти *S. cerevisiae* є одним із основних побічних продуктів варіння пива. Уже багато років вони займають місце на комерційному ринку, як харчова добавка, завдяки багатьом своїм перевагам, зокрема високому вмісту білку (45-60%). Протеїни

дріжджового екстракту включають незамінні АА, що мають високу біологічну цінність. Також перевагами екстракту *S. cerevisiae* є безпечність та невисока вартість, що сприяють широкому застосуванні в агропродовольчому секторі [44].

Попри те, що сучасний ринок включає тисячі ідентифікованих видів дріжджів, провідне місце займає саме *S. cerevisiae*. Ці дріжджі містять в собі біоактивні пептиди, що можна вилучити за допомогою різних фізичних, хімічних або ферментативних методів екстракції, у ході якої розщеплюються білкові молекули із вивільненням клітинної оболонки, після чого отримані сполуки підлягають очищенню [22].

РН із *Saccharomyces cerevisiae* та виокремлені з них білки, що мають антигіпертензивну, антиоксидантну і антимікробну активності, знайшли своє застосування у косметичному та агрохарчовому секторах [28, 34, 38, 39, 45, 46].

1.3.2 Властивості та вплив УН на фізіолого-біохімічні показники рослин

Останніми роками дріжджі привертають все більше уваги в аграрному секторі, тому що вони проявляють особливі можливості стимуляції росту сільськогосподарських культур. *S. cerevisiae* здобули назву «дріжджі, що сприяють росту рослин» (Plant Growth-Promoting Yeasts, PGPY). Ці мікроскопічні гриби відкривають нові можливості для сталого землеробства завдяки тому, що їх можна застосовувати у якості біостимуляторів та добрив [31, 47].

PGPY проявляють багатогранну дію: вони здатні позитивно впливати на гормональний баланс рослин та виробництво нею фітогормонів та інших БАР. Також ці дріжджі здатні покращувати якість ґрунту за рахунок оптимізації його структури та родючості. Крім цього, вони можуть збільшувати доступність ключових поживних речовин для рослин, їх засвоюваність. Не менш важливою є роль PGPY у підвищенні стійкості рослин до різних стресів: абіотичних (посуха, засоленість субстрату чи екстремальні температури) та

біотичних, виявляючи антагоністичну активність проти фітопатогенів, покращуючи захист рослини від хвороб [17, 19, 33, 35, 41].

Уведення PGPY в агрономічну практику може втілюватись різними способами. Ефективність демонструє преінокуляційна обробка насіння завдяки ранньому контакту дріжджів із кореневою системою рослини. Також мікроорганізми вносять прямо у ґрунт, покращуючи біологічну активність ризосфери. Принципово іншим підходом є позакоренева обробка листя рослин, яка має вплив безпосередньо на надземні органи рослини [31, 47].

Цікавими для дослідження є лізовані дріжджі, що є цінним джерелом різноманітних органічних та неорганічних поживних речовин, що необхідні для здорового росту та розвитку рослини. З іншого боку, нелізовані дріжджі із активним метаболізмом мають особливу здатність синтезувати БАР та фітогормони, які стимулюють розвиток рослин [47].

Наукові дослідження доводять позитивні властивості певних штамів дріжджів як дієвих біодобрив. Серед них відзначають їхню здатність перетворювати важкодоступні форми цинку та фосфатів у ґрунті на розчинені сполуки, що легко всмоктуються засвоюються рослиною [47]. Вид *S. cerevisiae* характеризується багатим хімічним складом із великою кількістю протеїнів, ліпідів, вуглеводів, нуклеїнових кислот, мінеральних елементів (азот, фосфор, калій, залізо, натрій, магній, сірка, мідь, цинк тощо). Також дріжджі – джерело вітамінів, зокрема тіаміну, фолієвої кислоти, рибофлавіну, піридоксину, та гормоноподібних речовин (ауксини та цитокініни) тощо [26]. Завдяки біоактивним властивостям через свій особливий хімічний склад та високому рівню безпечності для людини (статус GRAS – Generally Recognized As Safe) та навколишнього середовища, *S. cerevisiae* є сучасною заміною традиційним мінеральним добривам. Їхнє використання дозволяє відкривати нові горизонти для розвитку органічного сільського господарства [18, 40, 47,].

Результати досліджень впливу дріжджового екстракту на різні культури наведено в Табл. 1.2.

Таблиця. 1.2.

Дія препаратів дріжджів *S. cerevisiae* на ріст рослин різних видів за різних способів внесення

Рослина (Вид)	**Спосіб внесення препарату**	**Дія препарату**	**Довідка**
Рис (*Oryza sativa L.*)	обробка насіння екстрактом із біостимуляторами	Підтримка гомеостазу рослин при мінеральних дефіцитах	[20]
Кукурудза (*Zea Mays*)	Внесення живих дріжджів фертигацією на DAS 30 та 45 в умовах посухи	Збільшення біомаси листя, умісту хлорофілу. відносного вмісту води та антиоксидантів.	[1]
Цукрова тростина (*Saccharum officinarum L.*), Томати (*Solanum lycopersicum L.*)	Ґрунтове внесення живих дріжджів	Збільшення біомаси коренів та пагонів рослин, збільшення вмісту фосфору та азоту у рослин	[7]
Льон (*Linum usitatissimum L.*)	Обробка насіння сухим біостимулятором	Покращення росту розсади	[7]
Чіа (*Salvia hispanica L.*)	Фоліарна обробка екстрактом із біостимуляторами на стадії цвітіння	Збільшення врожайності та якості плодів	[16]
	Внесення в ґрунт (тричі, із DAS 45)	Покращення жирнокислотного складу рослини	[7]

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

2.1 Об’єкт дослідження

Об’єктом дослідження були рослини кукурудзи *Zea Mays* середньостиглого гібриду ДКС 315 ФАО 310 (Рис. 2.1.)

Рисунок 2.1. Зерно кукурудзи ДКС 315 ФАО 310 [створено автором]

2.2 Методи дослідження

У ході досліджень було використано наступні реактиви: препарат Гідролізат протеїнів пивних дріжджів (YH) (5% сухої речовини) (Рис. 2.1.), препарат Екстракт аміокислот (АА) (24% амінокислот), етанол (60% розчин), розчин Гьотрі (28,5 мл 1% розчину $CuSO_4*5H_2O$ + 50 мл 2% розчину K_2Cr_2O7 + 10 мл 2 н розчину NH4OH, доводили дистильованою водою до 100 мл), розчин дихромату калію (720 мг дихромату калію на 1 л дистильованої води), порошок крейди ($CaCO_3$), етиловий спирт (96%), ацетатний буфер (pH 4,7) (102 мл 1 н. розчину оцтвої кислоти + 98 мл 1 н. розчину ацетату натірю), розчин бензидину в ацетатному буфері (у мірну колбу на 200 мл наливали 100 мл дистильованої води + 2,3 льодяної кислоти + 184 мг бензидину; колбу нагрівали на водяній бані при 60, помішуючи; піля повного розчинення бензидину в колбу додавали 5,45 г ацетату натрію, охолоджували і доводили дистильованою водою до мітки), перекис водню (H_2O_2) (3% розчин) [53, 55].

У дослідженнях використовували наступні прилади: термостат, ваги кухонні LOOK & BUY із точністю вимірювання 1 г, SPAD-метр з точністю 1,0 одиниць SPAD, ваги аналітичні AXIS ANZ160G з точністю вимірювання

0,0001 г, ваги лабораторні ТВЕ-0, з точністю вимірювання 0,01 г, ФЕК КФК-2.

У ході дослідів порівнювали вплив препаратів: Гідролізат протеїнів пивних дріжджів (5% сухої речовини) та Екстракт амінокислот (24% АА).

Дослід для оцінки енергії проростання та схожості насіння проводили відповідно до схеми, наведеної у Табл. 2.1.

Таблиця 2.1.

Схема досліду оцінки енергії проростання та схожості насіння

№ Варіанту	Препарат	Спосіб внесення препарату	Норма витрати препарату, мл/т насіння
1	-	-	-
2	Гідролізат протеїнів пивних дріжджів УН	Обробка насіння	2,08
3			6,25
4			10,4
5	Екстракт амінокислот АА		20000

Експеримент проводили у двох повторностях. Перед обробками препаратами насіння протруювали в розчині 60% етанолу (Рис.2.2). Насіння пророщували між шарами змоченого паперу на чашках Петрі при температурі 25 С. На 4 день від закладання експерименту визначали енергію проростання, а на 6 – схожість насіння [51]. На 7 день від закладання експерименту вимірювали морфометричні показники проростків.

Рисунок 2.2. Приготування розчину із Гідролізату протеїнів пивних дріжджів для преінокуляційної обробки насіння [створено автором]

Дослід у субстраті проводили у двох паралелях відповідно до схеми, наведеної у Табл. 2.2.

Таблиця 2.2.

Схема досліду у субстраті для оцінки фізіолого-біохімічних показників кукурудзи

№ варіанту	Назва препарату	DAS обробки	Норма витрати препарату, мл/га
Контроль			
1	-	-	-
Внесення при обробці насіння			
2	Гідролізат протеїнів пивних дріжджів YH	DAS 1	0,05
3			0,14
4			0,24
5	Екстракт амінокислот AA		46
Внесення із фертигацією			
6	Гідролізат протеїнів пивних дріжджів YH	DAS 8, DAS 18	2
7			5

Продовження Табл. 2.2

8	Гідролізат протеїнів пивних дріжджів YH	DAS 8, DAS 18	8
9	Екстракт амінокислот AA		1500
№ варіанту	Назва препарату	DAS обробки	Норма витрати препарату, мл/га
Позакореневе внесення			
10	Гідролізат протеїнів пивних дріжджів YH	DAS 22, DAS 32	0,52
11			1,56
12			2,6
13	Екстракт амінокислот AA		0,5
Комбіноване внесення (фертигацією + фоліарно)			
14	Гідролізат протеїнів пивних дріжджів YH	DAS 8, DAS 18 + DAS 22, DAS 32	2 + 0,52
15			5 + 1,56
16			8 + 2,6
17	Екстракт амінокислот AA		1,5 + 0,5

Попередньо протруєне 60% етиловим спиртом насіння висівали на Торф'яний субстрат універсальний Eco Plus (pH 5,5 - 6,5; N120-160 мг/л; P2O5 160-200 мг/л; K2O 190-240 мг/л) на 2 см у глибину. Висівали по 2 рослини на горщик з параметрами 11 см *11 см *19 см з подальшим залишенням 1 рослини. Загалом вирощували 144 рослин, 6-кратна повторюваність на кожен варіант.

Початкове внесення води було 200 мл на горщик, надалі полив здійснювався кожні 2 дні до вологоємності субстрату 75%. Температура повітря трималась в оптимальних межах для вегетації кукурудзи із поступовим зменшенням від посіву до відмивання рослин на DAS 42. Середнє значення світлового періоду протягом досліду становить 11 год.

Для оцінки стану рослин кукурудзи було визначено такі морфометричні показники, як довжину пагону (Рис 2.3.), довжину кореня, кількість листків, та маси пагонів та коренів рослин. Маси вимірювали за допомогою аналітичних вагів.

Рисунок 2.3. Вимірювання висоти рослин кукурудзи [створено автором]

Протягом періоду росту рослин було проведено виміри SPAD на DAS 14, DAS 21, DAS 28 DAS 42. Для виміру розвинутий листок поміщали у SPAD-метр, так аби датчик розміщувався посередині ширини листка, уникаючи пошкоджених ділянок, якщо такі були (Рис. 2.4.). Виміри повторювали тричі для кожної рослини.

Рисунок 2.4. Вимірювання SPAD на листках кукурудзи [створено автором]

Кількісне визначення фотосинтетичних пігментів проводили фотоколориметричним методом з використанням КФК-2.

Для побудови калібрувального графіку для визначення умісту хлорофілів (a+b) використовувався розчин Гьотрі. Розчин відповідає оптичній щільності 0,085 мг хлорофілу в 1 мл розчину. Готували розведення, оптичну щільність розведень вимірювали на ФЕК КФК-2 при довжині хвилі 670 нм у кюветах з довжиною оптичного шляху 20 мм [53].

Щоб побудувати калібрувальний графік для визначення вмісту каротиноїдів був приготовлений стандартний розчин дихромату калію. За забарвленням 1 мл розчину відповідає 2,08 мкг β-каротину в 1 мл. Далі готували ряд розведень стандартного розчину та вимірювали їх оптичну щільність на КФК-2 при довжині хвилі 470 нм в кюветах з довжиною оптичного шляху 20 мм [53, 55].

Листки кукурудзи масою 0,1 г зважили на лабораторних, гомогенізували в ступці з невеликою кількістю порошку крейди ($CaCO_3$) та етилофим спиртом 96%. Відокремлювали від твердих фракцій фільтрацією через паперовий фільтр «синя стрічка» у пробірки та доводили вміст до 10 мл (Рис 2.5)[53].

Рисунок 2.5. Витяжка пігментів із листків кукурудзи [створено автором]

Оптичну щільність розведених спиртових витяжок пігментів вимірювали на КФК-2 у скляних кюветах 2 $см^3$ з довжиною оптичного шляху 20 мм при постійних довжинах хвиль 670 нм (для суми хлорофілів) та 470 нм (для

каротиноїдів). У якості контрольного розчину використовували 96% етиловий спирт [53].

Вміст пігментів визначали за наступною формулою:

$$A=\frac{(\frac{C}{10})*V*b}{1000*m}, \quad (1)$$

Де А – вміст пігментів у листках, мг/г;

С – концентрація пігментів у розчині (дані за калібрувальним графіком), мг/10мл;

V – об’єм витяжки, мл;

b – коефіцієнт розведення;

m – наважка листків, г [53].

Визначення активності пероксидази проводили проводили фотоколориметричним методом з використанням КФК-2 за О.М. Бояркіним [55].

Листки кукурудзи масою 0,25 г зважили на лабораторних вагахта подрібнили у порцеляновій ступці з додаванням ацетатного буфера pH 4,7 і перенесли у центрифужну пробірку 50 см^3. Отриману витяжку настоювали 10 хв та центрифугували при 4000 об/хв [55].

У дві кварцові кювети (довжина оптичного шляху 2 см) додали 2 см^3 витяжки ферменту, 2 см^3 розчину бензидину в ацетатному буфері та 2 см^3 води. За допомогою КФК-2 спочатку визначили нульову точку приладу на Е = 0,250. У тестові кювети додали 2 см^3 3% розчину перекису водню, а в контрольні кювети – 2 см^3 води (Рис 2.6.). Після додавання перекису водню одразу включали секундомір, отриманий час, необхідний для досягнення стрілкою гальванометра нульової поділки, записували у секундах [55].

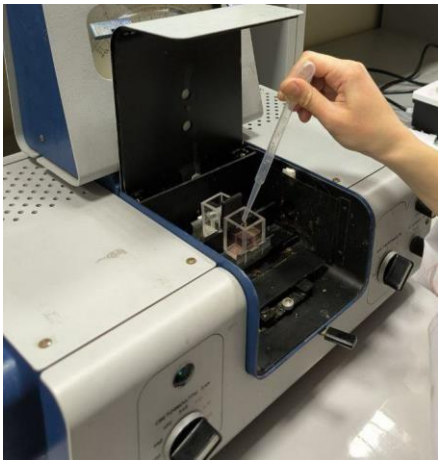

Рис.2.6 Вимірювання пероксидазної активності на КФК-2 [створено автором]

Активність ферменту розраховували за такою формулою [55]:

$$A = \frac{E(a*b*в)}{c*t}, \quad (2)$$

де А – активність пероксидази;

Е – екстинкція;

а – відношення кількості рідини, взятої для приготування витяжки ($см^3$), до сирої маси рослини (г);

b – степінь додаткового розведення витяжки після центрифугування (якщо таке є);

в – степінь постійного розведення витяжки у реакційній суміші (в кюветі);

с – довжина оптичного шляху кювети (2 см);

t – час (у секундах) [55].

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Оцінка енергії проростання та потенційної схожості насіння кукурудзи

Показники енергії проростання та схожості насіння у чашках Петрі при контрольованих умовах термостату наведено у Таблиці 3.1. Контроль та преінокуляційні обробки низьким та середнім вмістом гідролізованого білка пивних дріжджів YH показали кращу схожість кукурудзи. Проте висока концентрація YH знизила ці параметри. Обробка екстрактом амінокислот (АА) спочатку сповільнила проростання, але не знизила схожість насіння.

Таблиця. 3.1.

Енергія проростання та схожість насіння кукурудзи у термостаті

№ Варіанту	Енергія проростання, %	Схожість, %
1	100 ± 0,00	100 ± 0,00
2	100 ± 0,00	100 ± 0,00
3	100 ± 0,00	100 ± 0,00
4	90 ± 0,71	95 ± 0,35
5	90 ± 0,00	100 ± 0,00

Станом на 7 день від початку експерименте проростки контрольного варіанту виросли, досягнувши у середньому: 7,05 см довжини кореня та 3,12 см довжини пагону (Рис 3.1.). Позитивний вплив на кореневу систему мали обробки у варіантах: 2, 4 та 5 із приростом +9,1%, +2,7% та +29,7% по довжині та +23,4% +3,0% та 78,8% по сирій масі відповідно. Позитивний вплив на довжину та сиру масу пагону спостерігався лише у варіанті 3 із приростом +6,7% та +7,8% відповідно, тоді як варіанти 2, 4, 5 проявляли пригнічення росту на довжину пагону на -13,8%, -19,5% та -21,9% відповідно та на сиру масу пагону зі зменшенням на -24,5%, -18,8% та -22,3% відповідно (Рис. 3.2.)

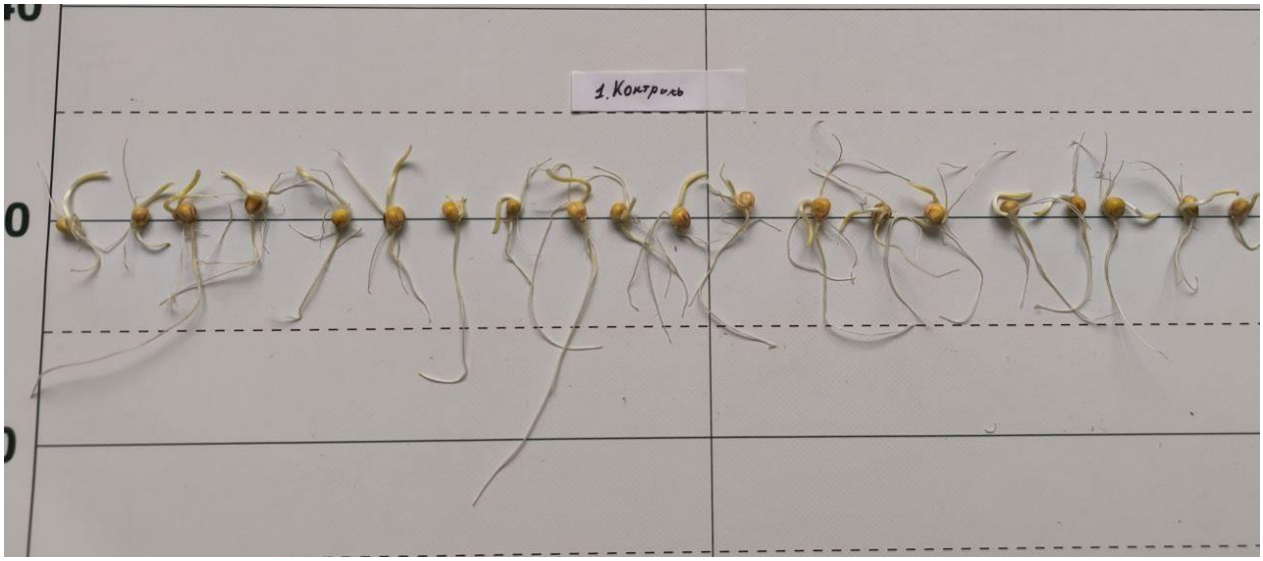

Рисунок 3.1. Проростки контрольного варіанту на сьомий від посіву у чашках Петрі [створено автором]

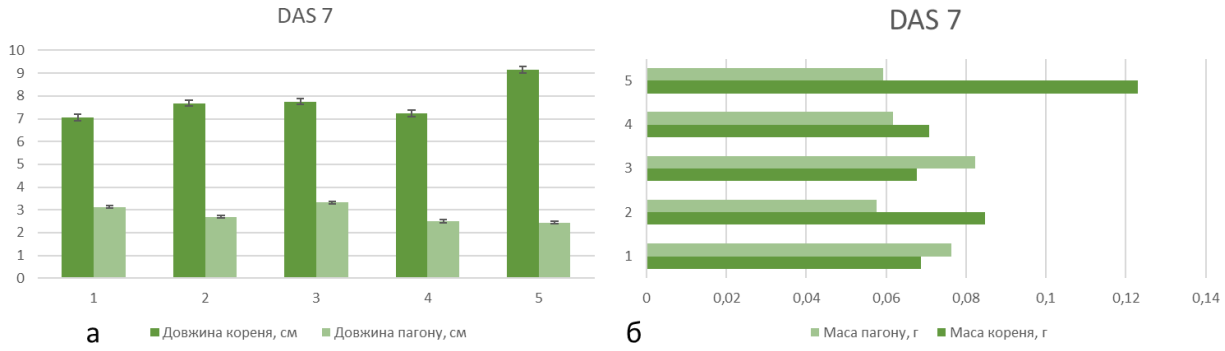

Рисунок 3.2. Морфометричні показники простків кукурудзи на DAS 7 у чашках Петрі: а) середні довжини; б) середні сирі маси рослин

Отже, низькі та середні концентрації дріжджового гідролізату мають позитивний вплив на схожість насіння, а висока концентрація YH знизила ці показники. Обробки YH із 6,25 мл/т насіння нормою витрати препарату, а також екстрактом аміноксилот позитивно вплинули на показники кореня та проростка, проте вища концентраціяYH пригнічували ріст пагону.

3.2 Оцінка морфометричних показників кукурудзи у субстраті

3.2.1 Динаміка росту рослин кукурудзи у субстраті

Динаміку росту рослин кукурудзи у висоту визначали протягом експерименту, починаючи із DAS 9 (Рис. 3.3.) та закінчуючи DAS 39 (Рис. 3.4), з метою дослідження впливу препаратів на перших фазах вегетації та збереження позитивного ефекту в подальшому розвитку рослин.

Рисунок 3.3. Рослини кукурудзи на DAS 9 [створено автором]

Рисунок 3.4. Рослини кукурудзи на DAS 39 [створено автором]

Для детальної оцінки різниці між дослідними варіантами результати досліду поділили на групи в межах одного способу внесення препаратів.

Преінокуляційна обробка насіння УН стимулює початковий ріст кукурудзи, але із часом ефект нівелюється (варіант 2). Підвищена концентрації УН (варіант 4) не дала значних переваг. Найкращого впливу завдала обробка екстрактом амінокислот (варіант 5) та середньою концентрацією УН (варіант 3) УН (Рис.3.5).

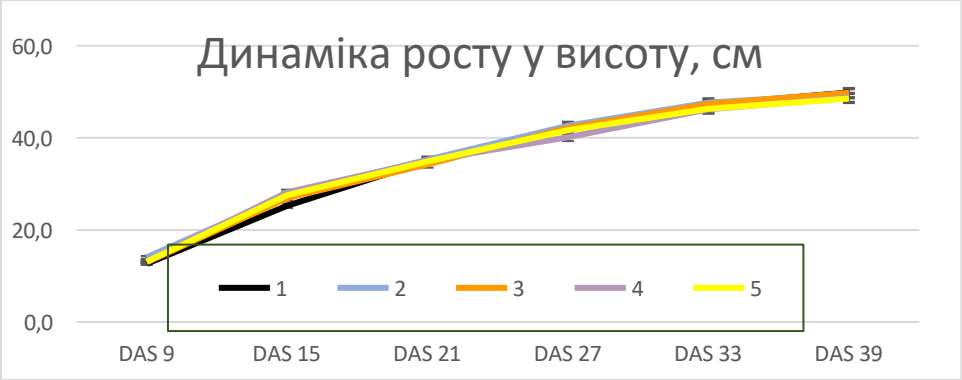

Рисунок 3.5 Вплив преінокуляційної обробки УН на динаміку росту кукурудзи у висоту

Внесення найменшої концентрації УН фертигацією (варіант 6) сприяє інтенсифікації росту на ранніх етапах, однак пізніше вплив стає менш вираженим. Вищі концентрації УН не демонструють кореляції зі значним покращенням росту, зокрема 8 варіант має негативний вплив на динаміку росту. Екстракт АА забезпечує стабільно високі темпи росту протягом усього періоду спостереження. Проте станом на DAS 39 найвищі показники росту мали рослини контрольної групи (Рис. 3.6).

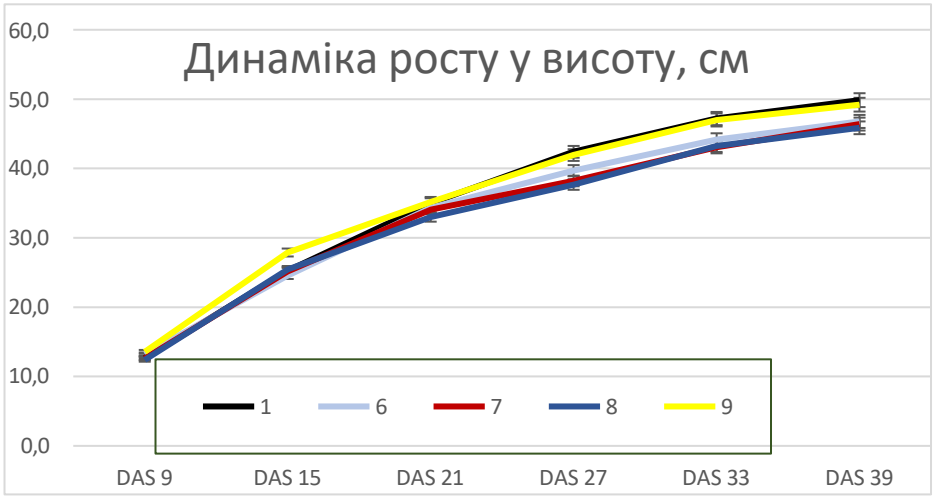

Рисунок 3.6. Вплив фертигаційної обробки УН на динаміку росту кукурудзи у висоту

Позакореневе внесення УН не мало показового впливу на динаміку росту у жодних концентрація (варіанти 10, 11, 12). Після фоліарної обробки екстрактом АА відбулась незначна інтенсифікація росту кукурудзи у висоту, однак контрольна група рослин мала більші висотні показники (Рис 3.7).

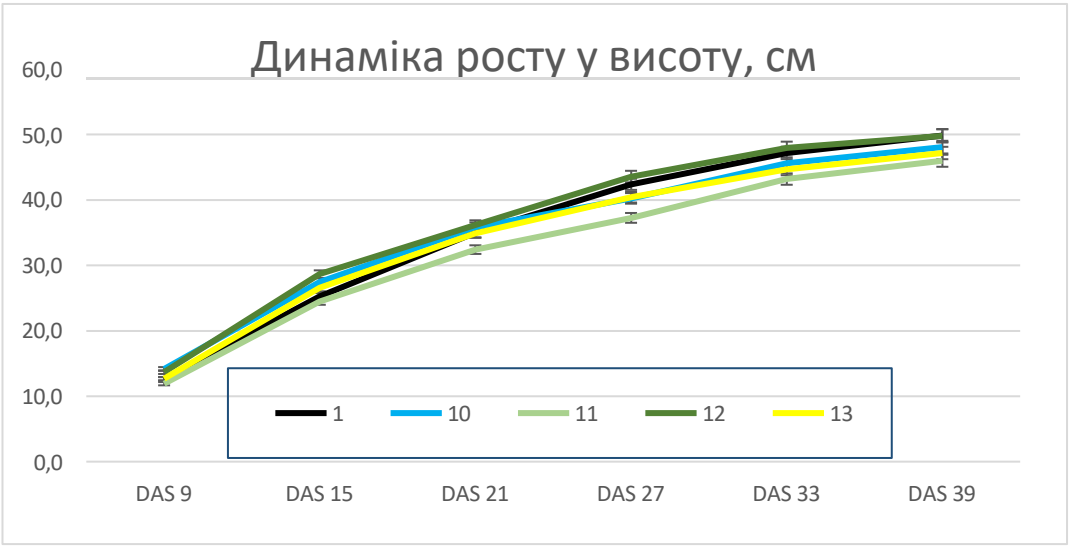

Рисунок 3.7. Вплив фоліарної обробки УН на динаміку росту кукурудзи у висоту

Комбінована обробка дріжджовим гідролізатом УН за низькими та середніми нормами витрату препарату (варіанти 14, 15) та екстрактом АА не показали позитивного впливу на ріст кукурудзи у висоту, а внесення високих доз УН (варіант 16) призвело до інгібування росту (Рис 3.8).

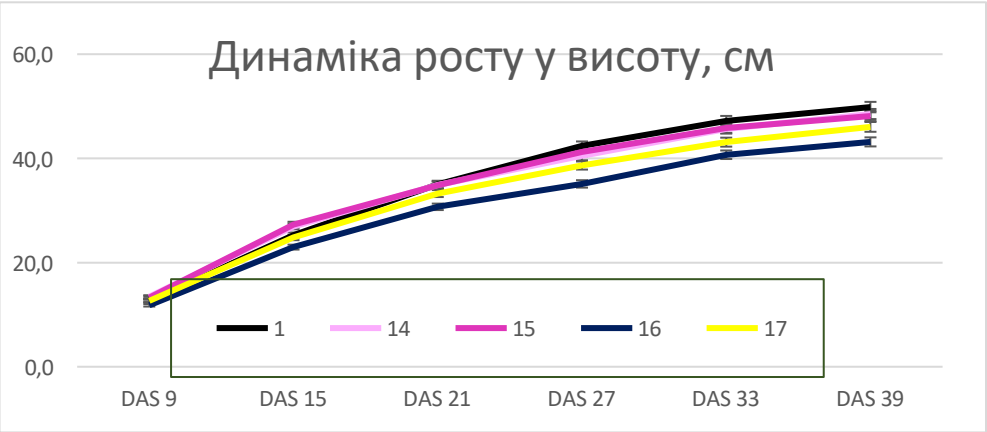

Рисунок 3.8. Вплив комбінованої обробки YH на динаміку росту кукурудзи у висоту

3.2.2 Морфометричні показники рослин кукурудзи у субстраті

Реакція рослин кукурудзи на різні обробки є неоднозначною. Контроль має середнє значення 32,73 ± 1,11 см довжини кореня та 50,33 ± 0,93 см довжини пагону. Преінокуляційна обробка насіння показує стимулюючий ефект на ріст кореня при застосуванні YH у середній концентрації (варіант 3) +18% та екстракту AA (варіант 5) +9%, тоді як вплив на ріст пагону не є статистично значущим (Рис. 3.9). Хоча проміжні результати дослідження морфометрії на DAS 14 показали значний приріст у довжині пагону та кореню рослин 5 варіанту у порівнянні з контролем (Рис 3.10).

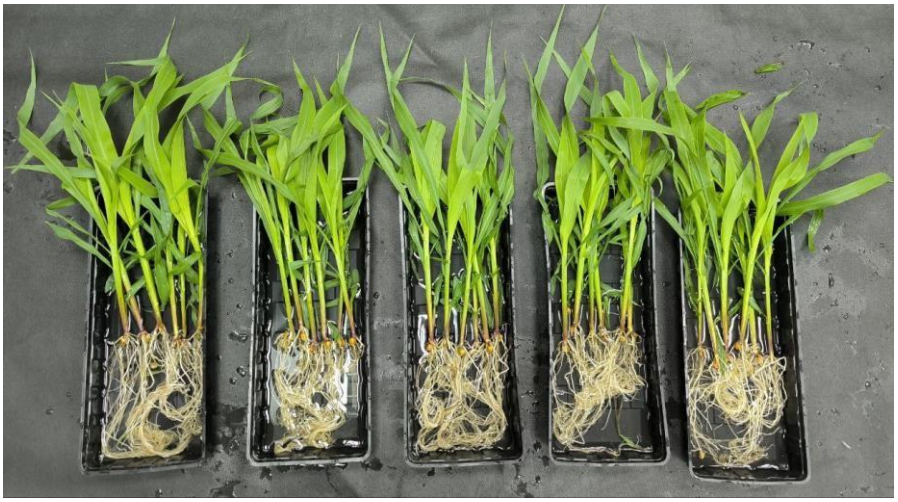

Рисунок 3.9. Відмиті на DAS 42 рослини варіантів: ліворуч 1, далі від нього 2, 3, 4, 5 відповідно [створено автором]

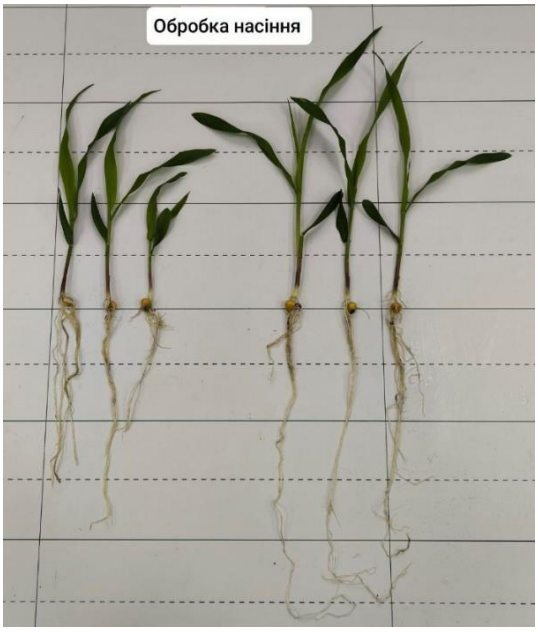

Рисунок 3.10. Зразки кукурудзи станом на DAS 14, праворуч – варіант 1, ліворуч – варіант 5 [створено автором]

Внесення біостимуляторів із фертигацією демонструє достовірне збільшення росту кореня при застосуванні YH у варіантах із нормами внесення 2мл/га (варіант 6) +12% та 8 мл/га (варіант 8) +15%, проте не виявлено позитивного впливу на ріст пагону, який навпаки зменшується, окрім при фертигації екстракту АА (варіант 9), що дала приріст і по довжині кореня +9%, і дуже незначний по довжині пагону.

Фоліарне внесення не показало достовірного позитивного впливу на ріст пагону для жодного досліджуваного варіанту.

Комбіноване внесення забезпечило достовірне збільшення росту кореня при застосуванні YH у різних варіантах: +21%, +24%, +15% відповідно із збільшенням норми витрати препарату. Однак, як й інші, жодна група варіанту не дало приросту довжини пагону. Результати дослідження ростових показників наведені на Рис. 3.11.

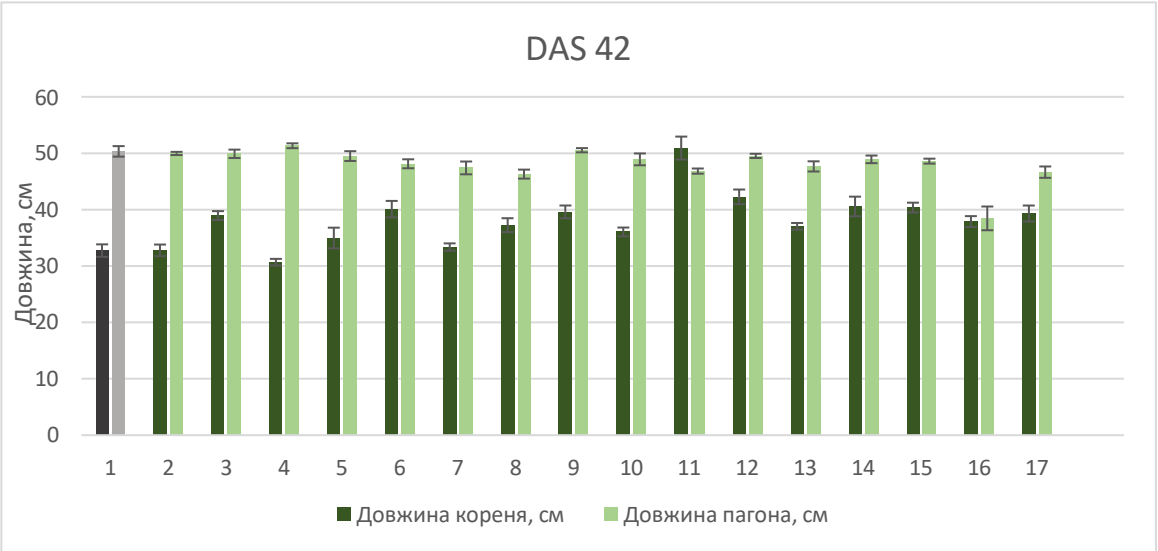

Рисунок 3.11. Морфометричні показники середніх значень довжин частин рослин кукурудзи на DAS 42 у субстраті

Достовірної різниці між кількістю листків між контрольним та дослідними варіантами не виявлено.

Морфометричні показники сирої біомаси рослин наведено на Рис. 3.12. Більшість дослідних варіантів не виявили позитивного впливу на сиру масу кореня та пагона. Навпаки, спостерігалось інгібування накопичення маси наземної частини рослин. Лише 9 варіант (фертигація із нормою витрати 1500 мл/га амінокислотного екстракту) продемонстрував достовірне збільшення маси кореня +8,6% порівняно з контролем 2,79 г (Рис.13). Найбільше інгібування росту пагону (-36,3% порівняно з контролем 6,61 г) відзначено при застосуванні комібнованої обробки високою дозою YH (16 варіант) (Рис.14).

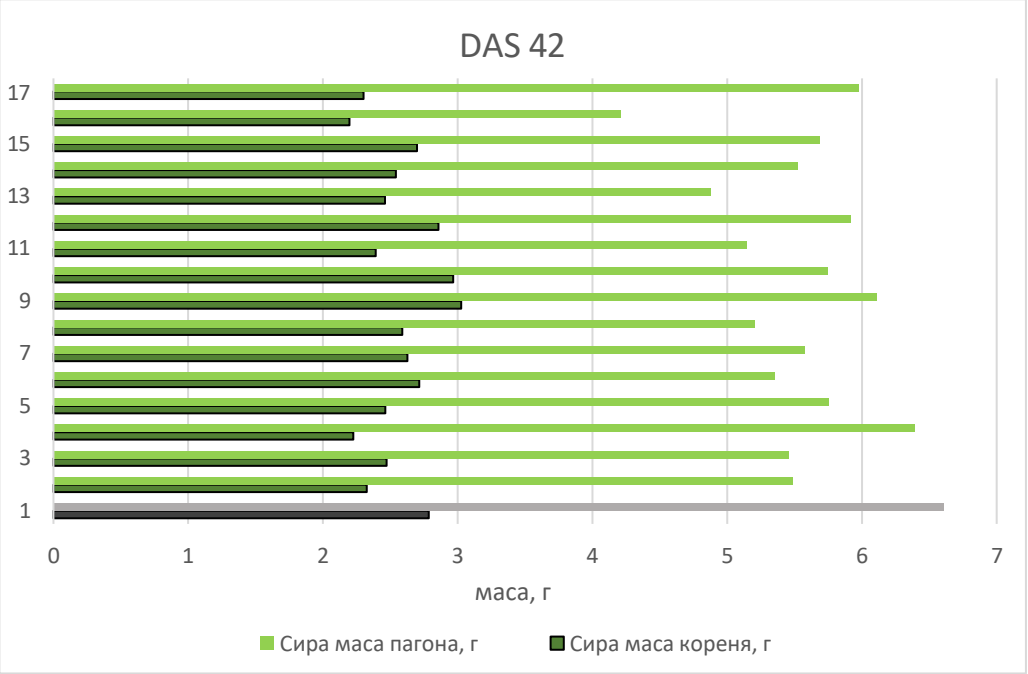

Рисунок 3.12. Морфометричні показники середніх значень маси частин рослин кукурудзи на DAS 42 у субстраті

Рисунок 3.13. Зразки кукурудзи станом на DAS 42, праворуч – варіант 1, ліворуч – варіант 9 [створено автором]

Рисунок 3.14. Рослини на DAS 42 згідно варіантів: ліворуч 1, далі від нього 14, 15, 16, 17 відповідно [створено автором]

Важливими розрахунковими показниками росту та розвитку рослин є співвідношення сирої маси пагону до кореня та співвідношення довжини пагону та кореня, що відображають баланс між підземною та наземною частинами рослини. Значення цих показників наведені в Табл. 3.2.

Таблиця 3.2.

Розраховані співвідношення надземної та підземної частин рослин кукурудзи

№ варіанту	Співвідношення довжини (Пагін/Корінь)	Співвідношення маси (Пагін/Корінь)
1	1,54	2,37
2	1,52	2,36
3	1,28	2,21
4	1,67	2,87
5	1,42	2,34

Продовження табл.3.2

6	1,2	1,97
7	1,42	2,12
8	1,24	2,01
9	1,28	2,02
10	1,36	1,94
11	0,92	2,15
12	1,17	2,07
13	1,29	1,98
14	1,21	2,17
15	1,20	2,11
16	1,01	1,92
17	1,19	2,59

Аналіз співвідношення маси пагону до кореня вказує на те, що УН викликає зміни у розподілі біомаси між цими частинами рослини. Причому характер цих змін залежить від концентрації та способу внесення. Застосування УН у високих концентраціях при фертигації та комбінованих обробках призводить до зменшення співвідношення, що свідчить про стимулювання розвитку кореневої системи та пригнічення росту пагону. Завдяки цьому відбувається перерозподіл ресурсів рослини для посилення поглинальної здатності коренів, що дозволяє збільшивши поглинання поживних речовин та підвищити стійкість до абіотичних стресів.

Отже, застосування гідролізату протеїнів дріжджів та екстракту амінокислот впливає на ріст кукурудзи, проявляючи як стимулюючий, так і інгібуючий ефекти залежно від норми внесення препарату та способу обробки рослини. Високі концентрації УН часто пригнічували ріст пагону, особливо при фертигації та комбінованих обробках. Екстракт АА демонстрував

ефективнішу стимулюючу дію на рослини кукурудзи порівняно із YH майже у всіх способах обробки.

3.3 Оцінка вмісту фотосинтетичних пігментів у листках кукурудзи

3.3.1 Динаміка SPAD рослин у субстраті

Позитивний результат щодо відносного вмісту хлорофілу серед варіантів насіннєвого внесення продемонструвала обробка середньою концентрацією гідролізату протеїнів (0,14 мл/га) із вищими значеннями SPAD на ранніх етапах онтогенезу кукурудзи. Проте найкращий вплив завдавав екстракт амінокислот (Рис. 3.15).

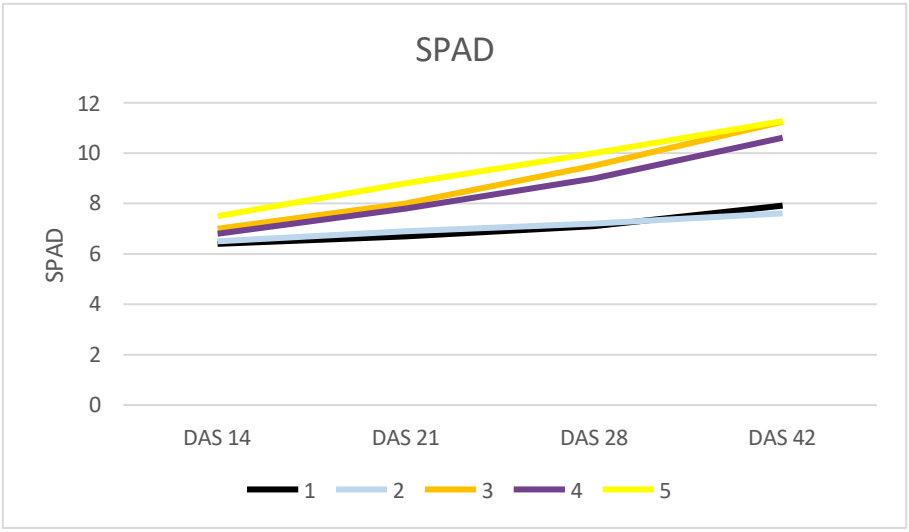

Рисунок 3.15. Динаміка SPAD рослин кукурудзи на субстраті, що підлягали насіннєвій обробці

Найбільше накопичення хлорофілу протягом вегетації забезбечила фертигація препарату YH із середньою дозою активних речовин (6 варіант) (Рис.3.16).

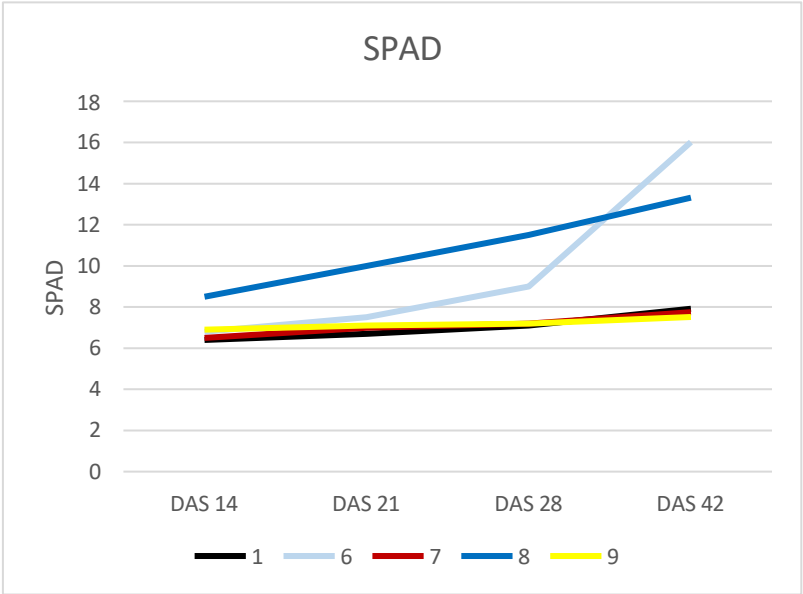

Рисунок 3.16. Динаміка SPAD рослин кукурудзи на субстраті, що підлягали фертигаційній обробці

За позакореневого внесення найефективнішим виявився екстракт амінокислот (варіант 13), також вдалось прослідкувати негативний ефект високих концентрацій УН (варіант 12) на вміст хлорофілу після обробок (Рис. 3.17).

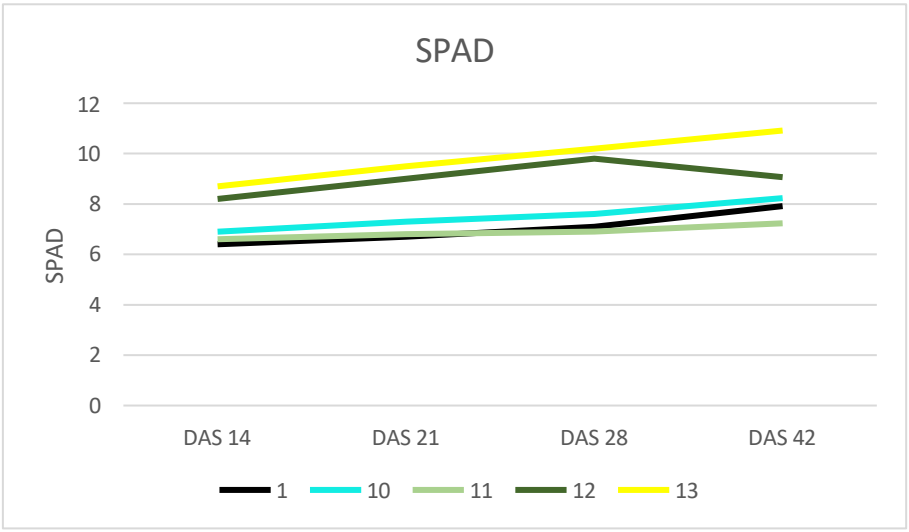

Рисунок 3.17. Динаміка SPAD рослин кукурудзи на субстраті, що підлягали фоліарній обробці

За комбінованої обробки рослин спостерігали пригнічення накопиченню хлорофілів листками при внесенні найвищої концентрації УН та нейтральний ефект амінокислотного екстракту (Рис. 3.18).

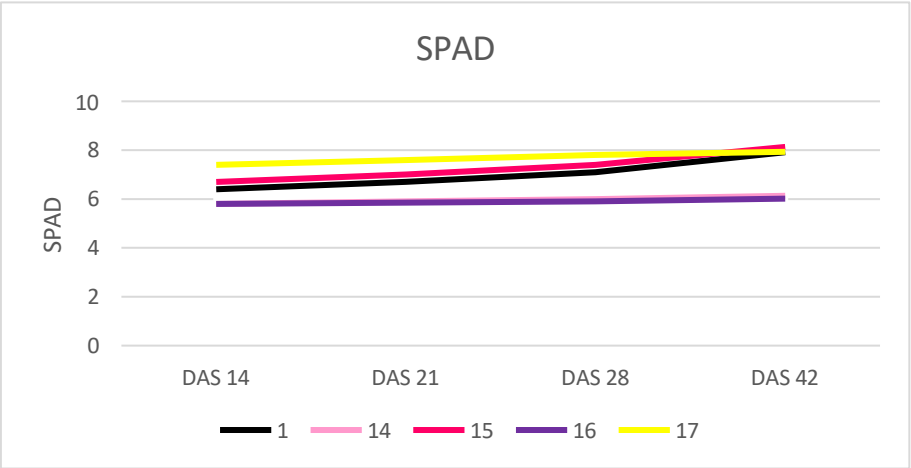

Рисунок 3.18. Динаміка SPAD рослин кукурудзи на субстраті, що підлягали комбінованій обробці

3.3.2 Вміст фотосинтетичних пігментів в листках кукурудзи у субстраті

Для одержання достовірних значень фотосинтетичних пігментів, побудовано калібрувальні графіки на КФК-2 (Рис. 3.19, Рис. 3.20).

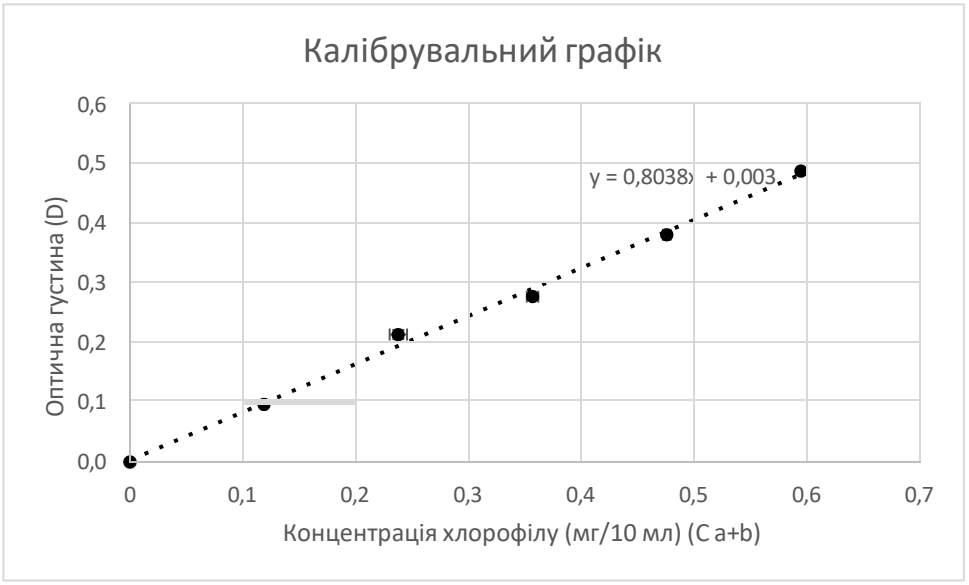

Рисунок 3.19. Калібрувальний графік на КФК-2 для визначення вмісту хлорофілу

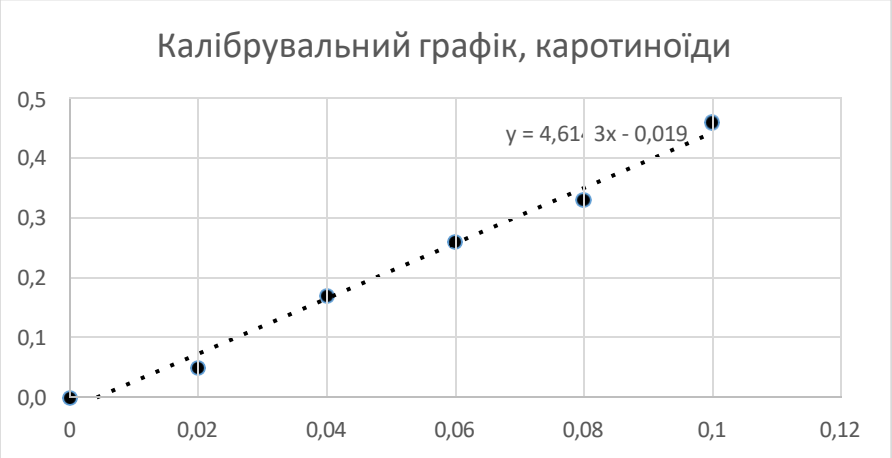

Рисунок 3.20. Калібрувальний графік на КФК-2 для визначеня каротиноїдів

Аналіз вмісту фотосинтетичних пігментів у листках кукурудзи поданий у Табл.3.3.

Таблиця 3.3.

Вміст фотосинтетичних пігментів у листі кукурудзи

№	Вміст хлорофілу a+b, мг/г	Вміст каротиноїдів, мг/г	(Хлорофіли a+b) / (каротиноїди)
1	5,65 ± 0,08	1,05 ± 0,18	5,38
2	7,06 ± 0,09	1,70 ± 0,31	4,15
3	7,06 ± 0,05	1,57 ± 0,29	4,50
4	6,56 ± 0,05	1,29 ± 0,24	5,09
5	6,47 ± 0,10	1,61 ± 0,27	4,01
6	6,65 ± 0,08	1,37 ± 0,25	4,86
7	5,98 ± 0,05	1,34 ± 0,24	4,47
8	7,47 ± 0,05	1,56 ± 0,28	4,80
9	4,49 ± 0,05	0,85 ± 0,16	5,30
10	4,99 ± 0,10	1,07 ± 0,19	4,69
11	5,48 ± 0,05	1,20 ± 0,22	4,56
12	6,23 ± 0,05	1,37 ± 0,25	4,55
13	6,81 ± 0,10	0,86 ± 0,16	7,90

Продовження Табл. 3.3

14	8,72 ± 0,05	1,61 ± 0,30	5,41
15	6,90 ± 0,00	1,35 ± 0,25	5,10
16	6,31 ± 0,05	1,23 ± 0,22	5,14
17	5,40 ± 0,00	1,08 ± 0,19	5,00

Застосування гідролізату протеїнів пивних дріжджів, особливо при обробці насіння у середній концентрації (6,25 мл/т насіння) та при комбінованому внесенні сприяло значному підвищенню вмісту хлорофілів (a+b). Це може бути пов’язано зі стимулюючим впливом амінокислот та пептидів, що входять до складу препарату, на біосинтез хлорофілу – основного пігменту поглинання світла у процесі фотосинтезу. Збільшення концентрації хлорофілу у свою чергу підвищує ефективність фотосинтетичної діяльності рослини. Комбіноване внесення, імовірно, забезпечує швидке засвоєння поживних речовин, як листовою поверхнею рослин, так і через корені. Така дія комплексно впливає на метаболічні процеси, в тому числі на фотосинтез. Водночас деякі варіанти обробки, зокрема амінокислотним екстрактом, не завжди демонстрували позитивний приріст вмісту хлорофілів. Каротиноїди виконують функцію запобігання фотопошкодження хлорофілів при надмірному освітленні. Оптимальне співвідношення хлорофілів до каротиноїдів є критично важливим для забезпечення ефективного фотосинтезу без ризику фотоокислювального пошкодження. Гідролізат протеїнів пивних дріжджів сприяє досягненню цього балансу.

Водночас, деякі варіанти обробки, зокрема екстрактом амінокислот АА та високими концентраціями гідролізату, не завжди демонстрували подібне позитивне зростання вмісту хлорофілу, а в окремих випадках навіть призводили до його зниження або підвищення вмісту каротиноїдів. Каротиноїди виконують важливу захисну функцію, запобігаючи фотопошкодженню хлорофілів при надмірному освітленні, тому їхнє

збільшення може бути реакцією на стресові умови або наслідком специфічного впливу певних сполук на метаболізм пігментів. Оптимальне співвідношення хлорофілів до каротиноїдів є критично важливим для забезпечення ефективного фотосинтезу без ризику фотоокислювального пошкодження, і результати свідчать про те, що гідролізат протеїнів пивних дріжджів YH за певних схем застосування може сприяти досягненню цього балансу.

Отже, аналіз динаміки SPAD та вмісту визначених фотосинтетичних пігментів на ФЕК виявив позитивний вплив різних обробок кукурудзи гідролізатом протеїнових дріжджів на накопичення хлорофілу та підтримці збалансованого співвідношення хлорофілів до каротиноїдів. Найбільш помітний ефект показала комбінована обробка препаратом YH нормою витрати 2 мл/га із поливом + 0,52 мл/га позакореневого внесення, проте вищі концентраціх гідролізату призводили до зменшення кількісних показників пігментів фотосинтезу.

3.4 Оцінка пероксидазної активності рослин кукурудзи

Аналіз активності пероксидази (Рис. 3.16.) виявив її залежність від застосованого препарату, концентрації діючої речовини та способу внесення. Базовий рівень ферментативної активності у контрольному варіанті становив 1,32 ± 0,04. При насіннєвій обробці гідролізатом протеїнів (варіанти 2-4) спостерігалася зниження активності пероксидази. Серед варіантів фертигації та позакореневого внесення гідролізату протеїнів найвищу активність пероксидази продемонстрували рослини, оброблені середніми концентраціями (варіант 7 з +55,3% та варіант 11 з +15,9%), що може вказувати на фітотоксичний ефект вищих концентрацій при цих способах застосування. Найнижчі показники пероксидазної активності зафіксовано у рослин, що зазнали комбінованої обробки.

Результати дослідження представленні на Рис.3.21

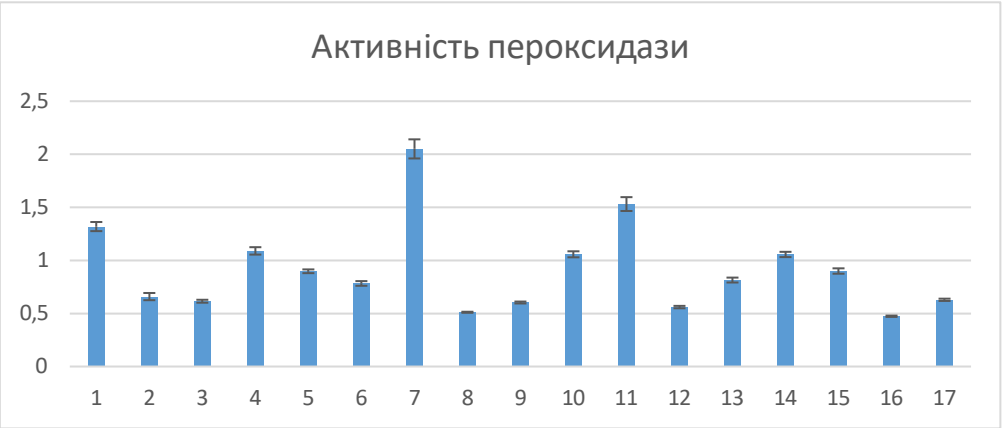

Рисунок 3.21. Активність пероксидази рослин кукурудзи на DAS 42 у субстраті

Аналіз активності пероксидази у листках кукурудзи показав, що при внесенні середніх концентрацій УН фертигаційно та позакоренево (у нормах 5 мл/га та 1,56 мл/ га відповідно) стимулює збільшення пероксидазної активності у листках. Проте комплексне поєднання цих способів внесення у комбіновану обробку дослідними концентраціями УН та АА пригнічували пероксидазну активність.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз наукової літератури свідчив про позитивний вплив гідролізату дріжджів на екофізіологічні та фізіолого-біохімічні показники різних сільськогосподарських культур за різних способів внесення та концентрацій.

2. Для дослідження було відібрано гідбрид кукурудзи ДКС 315 ФАО 310.

3. Преінокуляційна обробка невисокими концентраціями дріжджового гідролізату позитивно впливає на схожість насіння, тоді як висока норма витрати препарату призводить до пригнічення росту проростку на перших етапах розвитку кукурудзи.

4. Застосування гідролізату дріжджів впливає на морфометричні показники кукурудзи, проявляючи стимулюючий ефект, проте високі концентрації препарату призводять до пригнічення росту та накопичення біомаси.

5. Аналіз вмісту фотосинтетичних пігментів виявив позитивний вплив різних обробок гідролізатом протеїнових дріжджів на накопичення хлорофілу та підтримку збалансованого співвідношення хлорофілів до каротиноїдів. Найбільш помітний ефект показала комбінована обробка препаратом YH, проте комбіноване внесення гідролізату призводило до зменшення кількісних показників пігментів фотосинтезу.

6. Аналіз активності пероксидази у листках кукурудзи демонстрував збільшення активності ферменту при застосуванні гідролізату дріжджів при застосуванні внесення із фертигацією та позакореневого внесення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Abdelaal, K. A. A., et al. Ameliorative effects of Abscisic acid and yeast on morpho-physiological and yield characteristics of maize plant (Zea mays L.) under water deficit conditions. Fresenius Environ. Bull. 2017. Vol. 26, no. 12. P. 7372–7383. (14)

2. ALFOSEA-SIMÓN, Marina, et al. Application of biostimulants containing amino acids to tomatoes could favor sustainable cultivation: Implications for tyrosine, lysine, and methionine. Sustainability. 2020. Vol. 12, no. 22. P. 9729.

3. AZMAN, A. T., ISA, N. S. M., ZIN, Z. M., ABDULLAH, M. A. A., AIDAT, O., & ZAINOL, M. K. Protein hydrolysate from underutilized legumes: Unveiling the potential for future functional foods. Prev. Nutr. Food Sci. 2023. Vol. 28. P. 209–223.

4. BAVARESCO, Luigi, et al. Protein hydrolysates modulate leaf proteome and metabolome in water-stressed grapevines. Scientia Horticulturae. 2020. Vol. 270. P. 109413.

5. Belda, I., Ruiz, J., Santos, A., Van Wyk, N., & Pretorius, I. S. Yeast Diversity and Native Fermentation. Trends in Genetics. 2019. Vol. 35, no. 7. P. 475–486. URL: https://www.cell.com/trends/genetics/abstract/S0168-9525(19)30182-9 (дата звернення: 20.05.2025).

6. Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. Plant Soil. 2014. Vol. 383. P. 3–41.

7. Chambard, M., Albert, B., Cadiou, M., Auby, S., Profizi, C., & Boulogne, I. Living yeast-based biostimulants: different genes for the same results? *Frontiers in Plant Science*, 2023, vol. 14, article 1171564. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1171564.

8. Chen, X. L., Peng, M., Li, J., Tang, B. L., Shao, X., Zhao, F., Liu, C., Zhang, X. Y., Li, P. Y., Shi, M., Zhang, Y. Z., & Song, X. Y. Preparation and functional evaluation of collagen oligopeptide-rich hydrolysate from fish skin with the serine

collagenolytic protease from Pseudoalteromonas sp. SM9913. Sci Rep. 2017. Vol. 7, no. 1. P. 15716. DOI: 10.1038/s41598-017-15971-9.

9. Colla, G., Nardi, S., Cardarelli, M., Ertani, A., Lucini, L., Canaguier, R., & Rouphael, Y. Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. Sci. Hortic. 2015. Vol. 196. P. 28–38.

10. Colla, G., Nardi, S., Cardarelli, M., Ertani, A., Lucini, L., Canaguier, R., & Rouphael, Y. Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. *Sci. Hortic*. 2015. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423815301564

11. Corn (plant). Uses and products. URL: https://www.britannica.com/plant/corn-plant/Uses-and-products (дата звернення: 20.05.2025).

12. Cornsilk. URL: https://www.botanical.com/botanical/mgmh/c/corsi105.html (дата звернення: 20.05.2025).

13. CRISTOFANO, F., EL-NAKHEL, C., PANNICO, A., GIORDANO, M., COLLA, G., & ROUPHAEL, Y. Foliar and Root Applications of Vegetal-Derived Protein Hydrolysates Differentially Enhance the Yield and Qualitative Attributes of Two Lettuce Cultivars Grown in Floating System. Agronomy. 2021. Vol. 11, no. 1194. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy11061194.

14. DE BECZE, G. I. A microbiological process report; yeasts. I. Morphology. Appl Microbiol. 1956. № 4(1). P. 1–12. DOI: 10.1128/am.4.1.1-12.1956.

15. DEWANG, Sheetal P.; DEVI, C. Usha. Efficacy of organic biostimulant (fish protein hydrolyzate) on the growth and yield of tomato (Solanum lycopersicum). Agricultural Science Digest-A Research Journal. 2022. Vol. 42, no. 1. P. 20–25.

16. EL-BORAY, M. S., et al. IMPROVING YIELD AND FRUIT QUALITY OF WASHINGTON NAVEL ORANGE USING FOLIAR APPLICATIONS OF SOME NATURAL BIOSTIMULANTS. Journal of Plant Production. 2015. Vol. 6, no. 8. P. 1317–1332.

17. Fernandez-San Millan, A., Farran, I., Larraya, L., Ancin, M., Arregui, L. M., & Veramendi, J. Plant growth-promoting traits of yeasts isolated from Spanish

vineyards: Benefits for seedling development. Microbiol. Res. 2020. Vol. 237. P. 126480. DOI: 10.1016/ j.micres.2020.126480.

18. Hernández-Fernández, M., Cordero-Bueso, G., Ruiz-Muñoz, M., & Cantoral, J. M. Culturable yeasts as biofertilizers and biopesticides for a sustainable agriculture: A comprehensive review. Plants. 2021. Vol. 10, no. 822. DOI: 10.3390/plants10050822.

19. Ibrahim, H. A., & El-Fiki, I. A. I. Study on the effect of yeast in compost tea efficiency in controlling chocolate leaf spot disease in broad bean (Vicia faba). Org. Agric. 2019. Vol. 9. P. 175–188. DOI: 10.1007/s13165-018-0221-2.

20. JOHNSON, Riya; PUTHUR, Jos T. Biostimulantpriming in Oryza sativa: A novel approach to reprogram the functional biology under nutrient-deficient soil. Cereal Research Communications. 2022. Vol. 50, no. 1. P. 45–52.

21. KUMAR, R., HEGDE, A. S., SHARMA, K., PARMAR, P., & SHRIVASTAV, V. Microalgae as a sustainable source of food proteins and bioactive peptides—Current trends and future perspectives. Food Res. Int. 2022. Vol. 157. P. 111338.

22. LIU, Dan, et al. Yeast cell disruption strategies for recovery of intracellular bio-active compounds—A review. Innovative food science & emerging technologies. 2016. Vol. 36. P. 181–192.

23. Malécange, M., Sergheraert, R., Teulat, B., Mounier, E., Lothier, J., & Sakr, S. Biostimulant Properties of Protein Hydrolysates: Recent Advances and Future Challenges. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. Vol. 24, no. 11. P. 9714. URL: https://www.mdpi.com/1422-0067/24/11/9714 (дата звернення: 20.05.2025).

24. MALÉCANGE, Marthe, et al. Leafamine®, a free amino acid-rich biostimulant, promotes growth performance of deficit-irrigated lettuce. International Journal of Molecular Sciences. 2022. Vol. 23, no. 13. P. 7338.

25. MARTÍNEZ-ÁLVAREZ, O., CHAMORRO, S., & BRENES, A. Protein hydrolysates from animal processing by-products as a source of bioactive molecules

with interest for animal feeding: A review. Food Res. Int. 2015. Vol. 73. P. 204–212.

26. Medani, R. A., & Ragab, S. T. Improving Growth and Yield of Caraway (Carum carvi L.), Plants by Decapitation and/or Active Dry Yeast Application. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 2015. Vol. 4. P. 47–60.

27. MEGGIO, Franco, et al. Systematic investigation of the effects of a novel protein hydrolysate on the growth, physiological parameters, fruit development and yield of grapevine (Vitis vinifera L., cv Sauvignon Blanc) under water stress conditions. Agronomy. 2020. Vol. 10, no. 11. P. 1785.

28. MIRZAEI, Mahta, et al. Purification and identification of antioxidant and ACE-inhibitory peptide from Saccharomyces cerevisiae protein hydrolysate. Journal of Functional Foods. 2015. Vol. 19. P. 259–268.

29. MORENO-HERNÁNDEZ, J. M., BENÍTEZ-GARCÍA, I., MAZORRA-MANZANO, M. A., RAMÍREZ-SUÁREZ, J. C., & SÁNCHEZ, E. Production strategies, characterization, and agricultural applications of protein-based biostimulants: A review. Chil. J. Agric. Res. 2020. Vol. 80. P. 274–289.

30. Moreno-Hernández, J. M., Benítez-García, I., Mazorra-Manzano, M. A., Ramírez-Suárez, J. C., & Sánchez, E. Strategies for production, characterization and application of protein-based biostimulants in agriculture: A review. *Chil. J. Agric. Res.*, 2020, vol. 80, no. 2, p. 274–289. DOI: http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392020000200274.

31. Nimsi, K. A., Manjusha, K., Kathiresan, K., & Arya, H. Plant growthpromoting yeasts (PGPY), the latest entrant for use in sustainable agriculture: A review. J. App. Microbiol. 2023. Vol. 134. URL: https://doi.org/10.1093/jambio/lxac088 (дата звернення: 20.05.2025).

32. NOROOZLO, Yaghoub Aghaye; SOURI, Mohammad Kazem; DELSHAD, Mojtaba. Stimulation effects of foliar applied glycine and glutamine amino acids on lettuce growth. Open Agriculture. 2019. Vol. 4, no. 1. P. 164–172.

33. Nutaratat, P., Srisuk, N., Arunrattiyakorn, P., & Limtong, S. Plant growthpromoting traits of epiphytic and endophytic yeasts isolated from rice and sugarcane leaves in Thailand. Fungal Biol. 2014. Vol. 118. P. 683–694. DOI: 10.1016/j.funbio.2014.04.010.

34. Oliveira, A. S., Ferreira, C., Pereira, J. O., Pintado, M. E., & Carvalho, A. P. International Journal of Biological Macromolecules. 2022. Vol. 223. P. 1203–1214. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813022005645 (дата звернення: 20.05.2025).

35. Pandi, R., Velu, G., & Dananjeyan, B. Isolation and screening of soil yeasts for plant growth promoting traits. Madras Agric. J. 2019. Vol. 106. P. 439–443. DOI: 10.29321/ MAJ.2019.000289.

36. Parapouli, M., Vasileiadis, A., Afendra, A. S., & Hatziloukas, E. Saccharomyces cerevisiae and its industrial applications. AIMS Microbiol. 2020. № 6(1). P. 1–31. DOI: 10.3934/microbiol.2020001.

37. Pasković, I., Popović, Lj., Pongrac, P., Polić Pasković, M., Kos, T., Jovanov, P., & Franić, M. Protein Hydrolysates—Production, Effects on Plant Metabolism, and Use in Agriculture. *Agriculture*. 2020. Vol. 10, no. 10. P. 469. URL: https://www.mdpi.com/2311-7524/10/10/1041 (datum pristupa: 20.05.2025).

38. PODPORA, Bartłomiej, et al. Spent brewer's yeast extracts as a new component of functional food. Czech Journal of Food Sciences. 2016. Vol. 34, no. 6. P. 554–559.

39. PODPORA, Bartłomiej, et al. Spent brewer's yeast autolysates as a new and valuable component of functional food and dietary supplements. 2015.

40. Poloni, V., Salvato, L., Pereyra, C., Oliveira, A., Rosa, C., & Cavaglieri, L. Bakery by-products based feeds borne-Saccharomyces cerevisiae strains with probiotic and antimycotoxin effects plus antibiotic resistance properties for use in animal production. Food Chem. Toxicol. 2017. Vol. 107. P. 630–636. DOI: 10.1016/j.fct.2017.02.040.

41. Radić , D., Karlič ić , V., Đorđević , J., Jovič ić -Petrović , J., Kljujev, I., & Lalević , B. Soil yeasts promoting plant growth: benefits for the development of common wheat and white mustard. Zemdirbyste. 2022. Vol. 109. P. 27–34. DOI: 10.13080/z-a.2022.109.004.

42. ROUPHAEL, Y., CARRILLO, P., CRISTOFANO, F., CARDARELLI, M., & COLLA, G. Impact of plant-derived protein hydrolysate vs. animal-derived protein hydrolysate on morpho-physiological and metabolic traits of sweet basil. Sci. Hortic. 2021. Vol. 284. P. 110123.

43. ROUPHAEL, Youssef, et al. Foliar applications of a legume-derived protein hydrolysate elicit dose-dependent increases of growth, leaf mineral composition, yield and fruit quality in two greenhouse tomato cultivars. Scientia horticulturae. 2017. Vol. 226. P. 353–360.

44. Sharma, S., & Sharma, A. Plant growth-promoting potential of spent brewery yeast and its application in sustainable agriculture. 3 Biotech. 2023. Vol. 13, no. 1. P. 21. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-022-02636-5 (дата звернення: 20.05.2025).

45. SKLIROU, Aimilia D., et al. Hexapeptide-11 is a novel modulator of the proteostasis network in human diploid fibroblasts. Redox Biology. 2015. Vol. 5. P. 205–215. URL: https://doi.org/10.1016/j.redox.2015.04.010 (дата звернення: 20.05.2025).

46. THYAB GDDOA AL-SAHLANY, Shayma, et al. Purification of bioactive peptide with antimicrobial properties produced by Saccharomyces cerevisiae. Foods. 2020. Vol. 9, no. 3. P. 324.

47. Vargas Perucca, Mercedes Fabiana; Mestre Furlani, María Victoria; Vergara Alvarez, Silvia Cristina; Maturano, Yolanda Paola; Petrignani, Diego Bernardo; et al. Residual brewer’s Saccharomyces cerevisiae yeasts as biofertilizers in horticultural seedlings: towards a sustainable industry and agriculture. Frontiers in Industrial Microbiology. 2024. Vol. 2. P. 1–11. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1348792.

48. Walker, G. M., & Stewart, G. G. *Saccharomyces cerevisiae* in the Production of Fermented Beverages. *Fermentation*. 2016. Vol. 2, no. 4. P. 30. URL: https://www.mdpi.com/2306-5710/2/4/30 (дата звернення: 20.05.2025).

49. А 92 Атлас морфологічних ознак сортів (гібридів) кукурудзи Zea mays L. і сорго Sorghum L. (наочне доповнення до методик проведення польового інспектування насінницьких посівів кукурудзи і сорго) / Український інститут експертизи сортів рослин. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2019. 84 с. URL: https://sops.gov.ua/uploads/publication/2019/Atlas_t.pdf (дата звернення: 20.05.2025).

50. Господарсько-біологічна характеристика та особливості насінництва кукурудзи. URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u167/gospodarsko-biologichna_harakteristika_ta_osoblivosti_nasinnictva_kukurudzi.pdf (дата звернення: 20.05.2025).

51. ДСТУ 4138-2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. URL: https://fitolab-ck.dpss.gov.ua/wp-content/uploads/2024/01/dstu-4138_2002.pdf (дата звернення: 20.05.2025).

52. Кукурудза. URL: https://zemliak.com/kultury/8405-kukurudza (дата звернення: 20.05.2025). (52)

53. Самоіленко, Т. Фізіологія рослин. Лабораторний практикум. URL: https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/4827/1/Samoilenko_T.Fiz_rosl_Lab.pdf (дата звернення: 20.05.2025).

54. Фізіологія рослин. URL: http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/31508.pdf (дата звернення: 20.05.2025).

55. Фізіологія рослин: практикум / О. В. Войцехівська, А. В. Капустян, О. І. Косик та ін.; за заг. ред. Т. В. Паршикової. Луцьк: Терен, 2010. 420 с.

ДОДАТКИ