НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

ПОГОДЖЕННО
Декан факультету захисту рослин біотехнологій та екології
_____Юлія КОЛОМІЄЦЬ
«___»_____2026р

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
фізіології, біохімії
рослин та біоенергетики
_____Світлана ПРИЛУЦЬКА
«____» _____2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Вплив біопраймінгу насіння на ріст і розвиток кукурудзи»

Спеціальність 162 «Біотехнології та біоінженерія»
(код і назва)

Гарант освітньої програми _____ **Олена КВАСКО**
(підпис)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи _____ **Тетяна ТКАЧЕНКО**
(підпис)

Виконала _____ **Марія КУЦАН**
(підпис)

КИЇВ-2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
фізіології, біохімії рослин та
біоенергетики
_____Світлана ПРИЛУЦЬКА
«_____» _____2026 р.

З А В Д А Н Н Я
на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студентці

Спеціальність 162 Біотехнології та біоінженерія

Тема бакалаврської роботи: «Вплив біопраймінгу насіння на ріст і розвиток кукурудзи» затверджена наказом ректора НУБіП України від "22" жовтня 2025 р. № 1880 "С".

Термін подання завершеної роботи на кафедру 20 травня 2025 року

Вихідні дані до роботи: кукурудза (*Zea mays L.*) гібриду Кремінь 200 СВ Степова, добриво «ГуміФренд», літературні джерела за темою дослідження.

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Проаналізувати сучасні наукові дані щодо впливу біопраймінгу на ріст і розвиток рослин
2. Відбір та підготовка зерна кукурудзи для пророщування.
3. Підготовка робочих розчинів препарату «ГуміФренду» та інших розчинів, які необхідні для пророщування.
4. Висівання кукурудзи та зняття показів.
5. Написання дипломної роботи.

Дата видачі завдання 1 червня 2025 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи _____ Тетяна ТКАЧЕНКО

Завдання прийняла до виконання _____ Марія КУЦАН

РЕФЕРАТ

Робота викладена на 51 сторінці друкованого тексту. Вона містить вступ, три розділи, висновки та список використаних джерел. Робота ілюстрована 10 рисунками та 6 таблицями. Список літератури включає 32 найменування.

У роботі представлено результати впливу біопраймінгу насіння кукурудзи (*Zea mays* L.) гібриду Кремінь 200 СВ Степова препаратом «ГуміФренд» різних концентрацій на морфофізіологічні показники рослин. Результати досліджень узагальнено у вигляді таблиць та фотоматеріалів.

Мета дослідження – вивчити вплив біопраймінгу насіння препаратом «ГуміФренд» на ріст і розвиток кукурудзи (*Zea mays L.*).

Завдання дослідження:

- проаналізувати сучасні публікації щодо особливостей росту і розвитку кукурудзи;
- охарактеризувати механізми впливу біологічних агентів на ріст і розвиток рослин та проростання насіння;
- встановити вплив біопраймінгу на схожість насіння кукурудзи (*Zea mays L.*) в лабораторних умовах;
- оцінити морфометричні показники проростків кукурудзи без попередньої обробки насіння та за впливу препарату «ГуміФренд».

Об'єкт дослідження: вплив біопраймінгу насіння на ріст і розвиток кукурудзи (*Zea mays L.*).

Предмет дослідження: біопраймінг препаратом «ГуміФренд», морфометричні показники проростків кукурудзи (*Zea mays L.*), біологічні, морфологічні та фізіологічні закономірності росту кукурудзи.

Результати досліджень:

Препарат «ГуміФренд» чинить досить помітний вплив на розвиток та ріст кукурудзи, стимулюючи формування мичкуватої кореневої системи на ранніх етапах розвитку

Низькі концентрації препарату «ГуміФренд» (0,25 %) не впливають на ріст надземної частини рослини, а лише укріплюють її кореневу систему, шляхом формування додаткових корінців. Відмічається помітний вплив обробки насіння 1 %-відсотковим розчином препарату «ГуміФренд» на ріст рослин кукурудзи, а саме збільшення морфометричних показників надземної та підземної частин рослин;

Підвищення концентрації препарату «ГуміФренд» до 5 % виявилось не виправданим щодо впливу на лінійні показники кореня та пагона. Більше того, за дії 5 %-відсоткового розчину препарату спостерігається сповільнення розвитку рослини, що проявляється в зменшенні кількості сформованих листків у порівнянні з іншими досліджуваними групами.

ABSTRACT

This paper consists of 51 pages of printed text. It includes an introduction, three chapters, conclusions, and a list of references. The paper is illustrated with 10 figures and 6 tables. The bibliography contains 32 entries.

The paper presents the results of the effect of biopriming corn (Zea mays L.) seeds of the Kremin 200 SV Steppova hybrid with the "GumiFriend" preparation at various concentrations on the morphophysiological indicators of plants. The research results are summarized in the form of tables and photographic materials.

The aim of the study is to investigate the effect of seed biopriming with the "GumiFriend" preparation on the growth and development of corn (Zea mays L.).

Research objectives:

– to analyze current publications on the characteristics of corn growth and development;

– to characterize the mechanisms by which biological agents influence plant growth and development as well as seed germination;

– to determine the effect of biopriming on the germination of corn seeds (Zea mays L.) under laboratory conditions;

– to evaluate the morphometric parameters of corn seedlings without prior seed treatment and under the influence of the "GumiFriend" preparation.

Research object: the effect of seed biopriming on the growth and development of corn (Zea mays L.).

Research topic: bio-priming with the "GumiFriend" preparation, morphometric parameters of corn (Zea mays L.) seedlings, and biological, morphological, and physiological patterns of corn growth.

Research results:

The "GumiFriend" preparation has a fairly noticeable effect on the development and growth of corn, stimulating the formation of a fibrous root system in the early stages of development

Low concentrations of the “GumiFriend” preparation (0.25%) do not affect the growth of the plant’s aboveground parts but only strengthen its root system by promoting the formation of additional rootlets. A noticeable effect of treating seeds with a 1% solution of “GumiFriend” on corn plant growth was observed, specifically an increase in the morphometric parameters of the above-ground and below-ground parts of the plants;

Increasing the concentration of the “GumiFriend” preparation to 5% proved to be unjustified in terms of its effect on the linear parameters of the root and shoot. Moreover, under the action of a 5% solution of the preparation, a slowdown in plant development is observed, manifested in a reduction in the number of formed leaves compared to other study groups.

ЗМІСТ

ВСТУП 9
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БІОЛОГІЇ ТА ОНТОГЕНЕЗУ КУКУРУДЗИ 12
1.1. Походження, еволюційні передумови формування та сучасне поширення кукурудзи 12
1.2. Морфофункціональна характеристика вегетативних і генеративних органів кукурудзи 20
1.3. Біологічні закономірності росту та розвитку кукурудзи в онтогенезі 26
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ 33
2.1. Матеріал дослідження та його характеристика 33
2.2. Характеристика препарату «ГуміФренд» 34
2.3. Передпосівна підготовка та умови вирощування 36
2.4. Методика визначення росту та розвитку 37
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ 39
3.1. Схожість насіння кукурудзи за біопраймінгу препаратом «ГуміФденд» 39
3.2. Морфометричні показники кукурудзи за дії біопраймінгу 40
3.3. Аналіз отриманих результатів 43
ВИСНОВКИ 46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 47
ДОДАТКИ 49

ВСТУП

Сучасний етап розвитку аграрного виробництва характеризується інтенсивною трансформацією технологій вирощування сільськогосподарських культур, що зумовлено необхідністю забезпечення стабільного підвищення продуктивності рослинництва в умовах зростання демографічного навантаження, обмеженості природних ресурсів та глобальних кліматичних змін. У зв'язку з цим особливого значення набуває формування науково обґрунтованих підходів до оптимізації ростових процесів культурних рослин, підвищення їх адаптивного потенціалу та ефективності реалізації генетично детермінованої продуктивності. [1, 2, 24].

Серед провідних зернових культур світового землеробства особливе місце займає кукурудза (*Zea mays L.*), яка характеризується високим рівнем біологічної продуктивності, значною пластичністю до різних агроекологічних умов та універсальністю господарського використання. Завдяки поєднанню високого потенціалу врожайності, інтенсивної фотосинтетичної діяльності та здатності ефективно акумулювати органічну речовину кукурудза відіграє важливу роль у забезпеченні продовольчої та кормової безпеки багатьох країн світу.[7, 20, 30].

Висока господарська цінність кукурудзи обумовлена не лише її продуктивністю, але й складними біологічними особливостями, що проявляються у специфіці морфогенезу, органогенезу та фізіологічних процесів, які відбуваються протягом онтогенетичного розвитку рослини. Реалізація потенційної продуктивності культури значною мірою залежить від гармонійного перебігу процесів росту і розвитку, які формуються під впливом як генетичних факторів, так і комплексу зовнішніх умов середовища. [1, 2, 7, 20, 24, 30].

Значної актуальності набуває дослідження факторів, здатних оптимізувати фізіолого-біохімічні процеси проростання насіння та раннього росту рослин. Одним із перспективних напрямів у цій галузі є використання

біологічних методів передпосівної підготовки насіння, що базуються на активації внутрішніх механізмів росту та розвитку рослинного організму. Серед таких методів особливу увагу привертає біопраймінг насіння, який розглядається як інноваційна біотехнологічна технологія стимуляції ростових процесів та підвищення адаптаційних можливостей рослин [1, 29, 30].

У сучасних наукових дослідженнях біопраймінг розглядається як один із ефективних інструментів екологізації аграрного виробництва, оскільки він дозволяє підвищувати продуктивність рослин без значного збільшення хімічного навантаження на агроекосистеми. Використання біологічних агентів для стимуляції росту рослин сприяє формуванню стабільних рослинно-мікробних взаємодій, підвищенню стійкості рослин до абіотичних та біотичних стресових факторів, а також покращенню ефективності використання поживних речовин ґрунту[2, 7, 29].

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю поглибленого теоретичного осмислення біологічних закономірностей формування та розвитку кукурудзи як високопродуктивної зернової культури, що створює наукове підґрунтя для подальшого використання сучасних біотехнологічних підходів до оптимізації її ростових процесів.

Мета роботи – вивчити вплив біопраймінгу насіння препаратом «ГуміФренд» на ріст і розвиток кукурудзи (*Zea mays L.*).

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання дослідження:

1) проаналізувати сучасні публікації щодо особливостей росту і розвитку кукурудзи;
2) охарактеризувати механізми впливу біологічних агентів на ріст і розвиток рослин та проростання насіння;
3) встановити вплив різних біопраймінгу на схожість насіння кукурудзи (*Zea mays L.*) в лабораторних умовах;
4) оцінити морфометричні показники проростків кукурудзи без попередньої обробки насіння та за впливу препарату «ГуміФренд».

Об’єктом дослідження є вплив біопраймінгу насіння на ріст і розвиток кукурудзи (*Zea mays L.*).

Предмет дослідження біопраймінг препаратом «ГуміФренд», морфометричні показники проростків кукурудзи (*Zea mays L.*), біологічні, морфологічні та фізіологічні закономірності росту кукурудзи.

Методи дослідження. У процесі виконання роботи застосовано фізіологічні методи та комплекс загальнонаукових методів теоретичного дослідження, зокрема метод аналізу та синтезу наукової літератури, порівняльно-аналітичний метод, метод узагальнення та систематизації наукових даних.

Практичне значення роботи полягає у кращому розумінні впливу біопраймінгу (а саме застосуванню «ГуміФренду») на ріст та розвиток поширеного в Україні гібриду кукурудзи Кремінь 200 СВ.

Структура роботи визначається логікою дослідження та поставленими науковими завданнями. Робота складається зі вступу, трьох розділів (теоретичного розділу, матеріалів та методів дослідження, результатів дослідження), висновків та списку використаних джерел. У першому розділі розглянуто теоретичні основи біології кукурудзи, її походження, морфофункціональні особливості вегетативних і генеративних органів, а також біологічні закономірності росту і розвитку рослини в онтогенезі. У другому розділі детально описано структура експерименту та наведені дані про всі матеріали та препарати, які були використані у роботі. У третьому розділі подано інформацію про отримані результати. Проведено аналіз схожості насіння та морфофункціональних показників у всіх групах дослідження – у контрольній та з біопраймінгом препаратом «ГуміФренд».

РОЗДІЛ 1.
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БІОЛОГІЇ ТА ОНТОГЕНЕЗУ КУКУРУДЗИ

1.1. Походження, еволюційні передумови формування та сучасне поширення кукурудзи

Кукурудза (*Zea mays L.*) належить до однієї з найважливіших культурних рослин сучасного землеробства і займає провідне місце серед зернових культур світу за обсягами виробництва, біологічною продуктивністю та універсальністю використання [1]. Вона характеризується високою екологічною пластичністю, значною генетичною різноманітністю та здатністю адаптуватися до широкого спектра агрокліматичних умов. У зв'язку з цим вивчення походження кукурудзи, еволюційних передумов її формування та закономірностей поширення має важливе наукове значення для розуміння біологічної природи цієї культури, особливостей її морфогенезу та потенціалу подальшого вдосконалення [2, 4, 7, 9, 20].

У сучасному світовому землеробстві кукурудза характеризується надзвичайно широким спектром використання, що значною мірою визначає її стратегічне значення серед зернових культур. Зерно кукурудзи є цінною сировиною для виробництва харчових продуктів, кормів для тваринництва, крохмалю, глюкозно-фруктозних сиропів, рослинної олії, біоетанолу та багатьох інших продуктів переробки [26]. Завдяки високому вмісту вуглеводів, оптимальному амінокислотному складу білків та значній енергетичній цінності кукурудзяне зерно широко використовується у кормовій базі тваринництва [26 , 29, 30].

Крім того, кукурудза має важливе агроекологічне значення. Завдяки високій продуктивності фотосинтетичного апарату та здатності формувати значну вегетативну масу ця культура відіграє важливу роль у біологічному кругообігу речовин у агроекосистемах. Значна кількість післяжнивних решток, що залишається після збирання врожаю, сприяє збагаченню ґрунту

органічною речовиною та покращенню його фізико-хімічних властивостей [22].

Кукурудза належить до родини *Poaceae* (Злакові), підродини *Panicoideae*, триби Maydeae, що об'єднує низку близькоспоріднених родів тропічних та субтропічних злаків. З еволюційної точки зору кукурудза є результатом складного процесу доместикації та штучного добору, що відбувався протягом кількох тисячоліть у процесі взаємодії природних еволюційних механізмів і господарської діяльності людини [27].

Переважна більшість сучасних наукових досліджень свідчить про те, що предком культурної кукурудзи була дика рослина теосинте (*Zea mays ssp. parviglumis*), яка природно поширена на території сучасної Мексики та Центральної Америки. Генетичні та молекулярно-біологічні дослідження підтверджують високий ступінь спорідненості між кукурудзою та теосинте, що проявляється у подібності їх геномної структури, будови хромосом та механізмів регуляції морфогенезу [13, 17, 19].

Процес переходу від дикорослого предка до сучасної культурної форми супроводжувався глибокими морфологічними та фізіологічними змінами. Найбільш суттєві трансформації стосувалися структури суцвіть, форми зернівки, розмірів качана та характеру розташування зерен. У дикого теосинте зерна були вкриті твердими оболонками та розташовувалися окремо, що забезпечувало ефективне поширення насіння в природних умовах. У процесі доместикації відбулося формування качана з щільно розташованими зернами, що стало однією з ключових морфологічних ознак культурної кукурудзи [30].

З позицій сучасної молекулярної генетики процес доместикації кукурудзи розглядається як складний комплекс еволюційних змін, пов'язаних із перебудовою регуляторних механізмів розвитку рослини. У результаті тривалого штучного добору відбувалися зміни експресії низки генів, відповідальних за формування архітектоніки рослини, розвиток генеративних органів та характер розподілу асимілятів між різними органами [9, 13, 30].

Особливе значення у процесі формування сучасного фенотипу кукурудзи мають гени tb1 (*teosinte branched1*), tga1 (*teosinte glume architecture*1) та ряд інших регуляторних генів, які контролюють галуження стебла, будову колоскових лусок і структуру качана. Мутації та селекційний добір цих генів сприяли формуванню компактної архітектури рослини та збільшенню продуктивності репродуктивних органів [17].

Сучасні археоботанічні дослідження свідчать, що процес одомашнення кукурудзи розпочався приблизно 9–10 тисяч років тому на території південної частини Мексики. Поступово ця культура поширювалася територією Центральної та Південної Америки, де стала однією з основних продовольчих рослин цивілізацій майя, ацтеків та інків. У цих культурах кукурудза мала не лише господарське, але й значне культурне та релігійне значення [13].

Однією з характерних особливостей еволюції кукурудзи є глибока трансформація її морфологічної організації. Порівняльний аналіз дикорослих форм теосинте та сучасних сортів кукурудзи свідчить про суттєві зміни у будові рослини, які відбулися під впливом штучного добору [9, 13, 17, 27, 30].

Таблиця 1.1

Основні морфологічні відмінності між теосинте та культурною кукурудзою [13, 17]

Ознака	Теосинте	Культурна кукурудза
Тип росту	Сильно розгалужений	Переважно одне головне стебло
Кількість качанів	Багато дрібних	Невелика кількість великих
Будова зернівки	Зерно в твердій оболонці	Відкрите зерно без твердої оболонки
Розташування зерен	Окремо	Щільно на качані
Розмір суцвіття	Невеликий	Значно збільшений

Аналіз наведених морфологічних відмінностей свідчить про глибоку трансформацію структурної організації рослини в процесі доместикації. Перехід від сильно розгалуженої дикорослої форми до компактної архітектури культурної кукурудзи забезпечив більш ефективний розподіл пластичних речовин та енергії на формування репродуктивних органів. У результаті цього

відбулося суттєве збільшення розмірів качана, підвищення маси зерна та загальної продуктивності рослини [13, 17, 27, 30].

Ці морфологічні зміни супроводжувалися також перебудовою фізіологічних процесів, зокрема інтенсивності фотосинтезу, транспорту асимілятів та регуляції ростових процесів. Саме комплексна трансформація морфологічних і фізіологічних характеристик забезпечила формування сучасної високопродуктивної культури [27, 30].

У процесі доместикації важливу роль відігравали генетичні мутації та рекомбінації, що призводили до зміни регуляції росту, формування суцвіть і розподілу ресурсів у рослинному організмі. Особливо значущими були зміни генів, що контролюють галуження стебла, розвиток репродуктивних органів та формування зерна [9].

Ці еволюційні перетворення супроводжувалися посиленням продуктивності рослини, збільшенням маси зерна та покращенням його поживних властивостей. У результаті кукурудза стала однією з найбільш урожайних зернових культур, здатних формувати значну біомасу та забезпечувати високі показники врожайності [9].

Після відкриття Америки наприкінці XV століття кукурудза почала швидко поширюватися за межами американського континенту. Європейські мореплавці та торговці завезли її до Іспанії, Португалії та інших країн Європи, звідки вона поступово поширилася на території Африки та Азії [7, 30].

Висока адаптивність кукурудзи до різних кліматичних умов сприяла її швидкій інтеграції у сільськогосподарські системи багатьох регіонів світу. Упродовж кількох століть культура стала однією з провідних зернових рослин планети [1, 3, 19, 29]



Рис. 1.1. Етапи історичного поширення кукурудзи [9, 27, 30]

У сучасних умовах кукурудза вирощується практично на всіх континентах, за винятком Антарктиди. Найбільші площі її посівів зосереджені у країнах з помірним та субтропічним кліматом, де культура здатна максимально реалізувати свій біологічний потенціал [7].

До провідних виробників кукурудзи належать США, Китай, Бразилія, Аргентина та країни Європейського Союзу. У цих регіонах культура використовується як для продовольчих цілей, так і для виробництва кормів, крохмалю, біоетанолу та інших продуктів переробки [29].

Таблиця 1.2

Світове виробництво кукурудзи у провідних країнах [24, 29]

Країна	**Частка у світовому виробництві, %**	**Основні напрями використання**
США	30–32	корми, біоетанол, харчова промисловість
Китай	22–24	кормове виробництво
Бразилія	9–10	експорт зерна та кормів
Аргентина	4–5	експорт зерна
ЄС	6–7	кормове використання

Аналіз структури світового виробництва кукурудзи свідчить про високу концентрацію її виробництва у кількох провідних аграрних регіонах світу. Провідні позиції займають країни з високорозвиненим аграрним сектором, де впроваджуються інтенсивні технології вирощування та сучасні селекційні досягнення [24, 29]

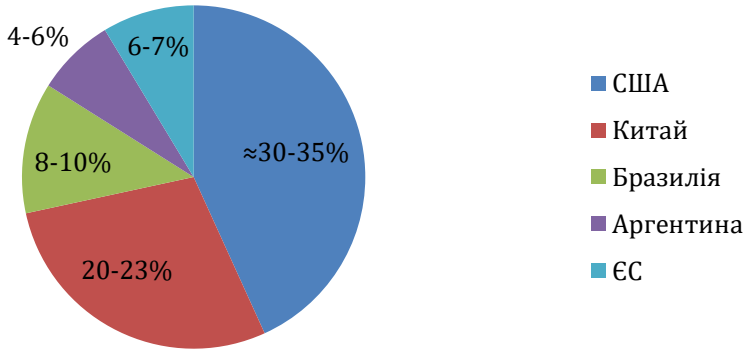


Рис 1.2. Провідні країни-виробники кукурудзи у світі [24, 29]

В Україні кукурудза є однією з найважливіших зернових культур і відіграє ключову роль у структурі посівних площ. Сприятливі ґрунтово-кліматичні умови, родючі чорноземи та значний селекційний потенціал сприяють отриманню високих врожаїв цієї культури. Україна входить до числа провідних світових експортерів кукурудзи, що підкреслює її стратегічне значення для національної економіки та аграрного сектору [26].

Глобальне поширення кукурудзи як однієї з провідних зернових культур світу зумовлене комплексом її біологічних особливостей, які формувалися впродовж тривалого еволюційного розвитку та селекційного вдосконалення під впливом природних і антропогенних факторів (рис. 1.3). Сукупність морфологічних, фізіологічних і генетичних характеристик цієї рослини забезпечує їй високий рівень продуктивності, значну екологічну пластичність та здатність ефективно функціонувати в різноманітних кліматичних умовах. Саме ці властивості визначають виняткову роль кукурудзи у світовому рослинництві та пояснюють її широке географічне поширення [24].

Однією з фундаментальних фізіологічних особливостей кукурудзи є специфічний тип фотосинтетичного метаболізму, відомий як С4-фотосинтез. На відміну від більшості злакових культур, які здійснюють фотосинтез за С3-типом, кукурудза характеризується наявністю більш досконалого механізму асиміляції вуглекислого газу. У рослин із С4-типом фотосинтезу процес фіксації вуглецю відбувається у два етапи та просторово розділяється між клітинами мезофілу та клітинами обкладки судинних пучків. Така анатомічна організація листкової тканини, відома як «кранц-структура», забезпечує підвищену концентрацію вуглекислого газу в зоні функціонування ферменту рибулозо-1,5-бісфосфаткарбоксилази, що значно зменшує інтенсивність фотореспірації та підвищує ефективність фотосинтетичного апарату [11].

Завдяки цьому кукурудза здатна підтримувати високу інтенсивність фотосинтезу навіть за умов підвищених температур, інтенсивного сонячного випромінювання та обмеженої вологості повітря. У результаті фотосинтетична продуктивність рослин значно зростає, що сприяє активному синтезу органічних сполук і формуванню значної біомаси. Така фізіологічна особливість має важливе адаптивне значення, оскільки дозволяє культурі ефективно використовувати сонячну енергію та забезпечує високий рівень продуктивності у регіонах із теплим кліматом [11].

Не менш важливою біологічною передумовою поширення кукурудзи є її здатність до інтенсивного накопичення органічної речовини. Рослини цієї культури характеризуються високою швидкістю ростових процесів та значною продуктивністю фотосинтетичного апарату, що зумовлює активне утворення вуглеводів, білків та інших органічних сполук. У процесі онтогенезу кукурудза формує потужний асиміляційний апарат, представлений великими листковими пластинками, які забезпечують значну площу поглинання сонячної енергії. Це створює сприятливі умови для інтенсивного фотосинтезу та накопичення значної кількості органічної маси [22].

Високий рівень продуктивності кукурудзи також пов’язаний із особливостями формування її кореневої системи. У процесі розвитку рослина

утворює добре розгалужену мичкувату кореневу систему, яка проникає на значну глибину та охоплює великий об’єм ґрунту. Така морфологічна структура забезпечує ефективне поглинання води та мінеральних елементів живлення навіть у відносно несприятливих умовах. Крім того, добре розвинена коренева система сприяє підвищенню стійкості рослин до посушливих умов та забезпечує їх механічну стабільність [3].

Важливим фактором, що визначає успішне поширення кукурудзи, є її значна генетична різноманітність. Упродовж багатовікової історії культивування та селекції сформувалася велика кількість форм, сортів і гібридів кукурудзи, які відрізняються за морфологічними, фізіологічними та господарсько цінними ознаками. Генетичне різноманіття культури забезпечує широкі можливості для селекційної роботи та створення нових високопродуктивних гібридів, адаптованих до різних кліматичних і ґрунтових умов. Саме завдяки цьому кукурудза успішно культивується як у тропічних і субтропічних регіонах, так і в умовах помірного клімату [28].

Крім того, значну роль у поширенні кукурудзи відіграє її висока екологічна пластичність, яка проявляється у здатності рослини адаптуватися до широкого спектра агрокліматичних умов. Культура характеризується відносною толерантністю до коливань температури, інтенсивності освітлення, вологості ґрунту та інших факторів середовища. Завдяки цьому вона може успішно вирощуватися у різних природно-кліматичних зонах – від помірних широт до тропіків. Здатність кукурудзи швидко реагувати на зміни умов середовища та адаптуватися до них забезпечує стабільність її продуктивності та сприяє розширенню ареалу вирощування [2].

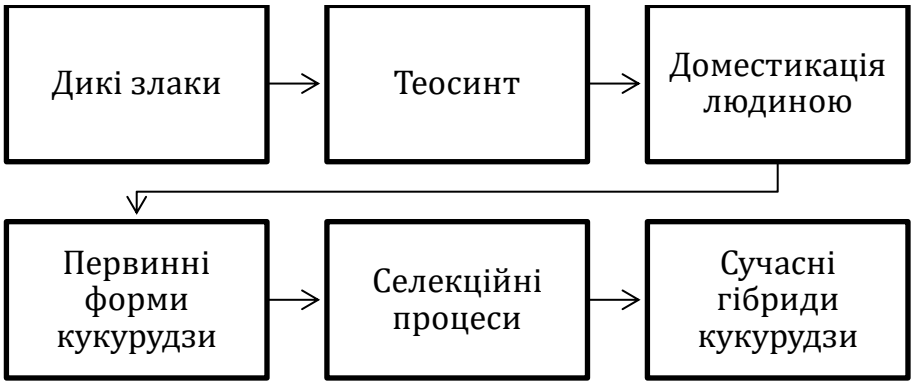


Рис.1.3.Еволюційне формування культурної кукурудзи [13, 30]

Отже, формування сучасної кукурудзи є результатом складної взаємодії природних еволюційних процесів і цілеспрямованої діяльності людини. Упродовж тисячоліть доместикації відбулися глибокі генетичні, морфологічні та фізіологічні зміни, що перетворили дикорослу рослину на одну з найпродуктивніших культур сучасного землеробства [30].

Таким чином, біологічні особливості кукурудзи формують комплекс передумов, що забезпечують її винятково високу продуктивність і значну екологічну пластичність. Поєднання ефективного фотосинтетичного метаболізму, інтенсивного накопичення органічної речовини, добре розвиненої кореневої системи, широкого генетичного різноманіття та високої адаптивної здатності створює сприятливі умови для успішного вирощування цієї культури у різних регіонах світу. Саме ці властивості визначають стратегічне значення кукурудзи у структурі світового землеробства та пояснюють її провідну роль у забезпеченні глобальної продовольчої безпеки.

1.2. Морфофункціональна характеристика вегетативних і генеративних органів кукурудзи

Кукурудза є високоспеціалізованою однорічною трав’янистою рослиною родини злакових (*Poaceae*), морфологічна організація якої характеризується складною структурною диференціацією та чіткою

функціональною спеціалізацією окремих органів. У процесі еволюційного розвитку та тривалої селекції сформувалася система органів, що забезпечує ефективне поєднання процесів росту, метаболізму та репродукції. Морфологічна будова рослини кукурудзи визначає її високий рівень біологічної продуктивності, здатність формувати значну вегетативну масу та ефективно реалізовувати репродуктивний потенціал [18].

У структурі рослинного організму кукурудзи традиційно виділяють дві великі функціональні групи органів – вегетативні та генеративні**.** Вегетативні органи представлені кореневою системою, стеблом та листками, які забезпечують основні процеси життєдіяльності рослини, зокрема поглинання води та мінеральних речовин, фотосинтетичну асиміляцію, транспортування метаболітів і підтримання механічної стабільності рослини. Генеративні органи представлені чоловічими та жіночими суцвіттями, а також плодом – зернівкою, які забезпечують процеси статевого розмноження та формування насіння [18, 23].

Коренева система кукурудзи характеризується мичкуватим типом будови і є складною багатокомпонентною структурою, яка формується у кілька послідовних етапів онтогенетичного розвитку. На початковій стадії проростання насіння формується зародковий корінь, який виконує функцію первинного закріплення проростка в ґрунті та забезпечує початкове поглинання води й розчинених у ній мінеральних речовин. У подальшому, у процесі росту рослини, відбувається інтенсивне формування вузлових (адвентивних) коренів, що розвиваються із підземних вузлів стебла [4].

З розвитком рослини формуються також повітряні або опорні корені**,** які виникають із надземних вузлів стебла. Їх основна функція полягає у підвищенні механічної стійкості рослини та запобіганні її виляганню під впливом вітру або маси сформованого качана. У вологих умовах ці корені можуть частково виконувати також поглинальну функцію [3, 5].

В анатомічному відношенні корінь кукурудзи має добре диференційовану тканинну структуру, що забезпечує ефективне виконання

поглинальної та транспортної функцій. Зовнішній шар представлений ризодермою, клітини якої утворюють численні кореневі волоски. Саме кореневі волоски значно збільшують площу контакту кореня з ґрунтовим середовищем і забезпечують інтенсивне поглинання води та розчинених у ній мінеральних елементів [5].

Під ризодермою розташовується первинна кора, утворена паренхімними клітинами, які беруть участь у транспортуванні води та накопиченні запасних речовин. Центральна частина кореня представлена провідним циліндром, у якому розташовані елементи ксилеми та флоеми. Ксилема забезпечує висхідний транспорт води та мінеральних речовин до надземних органів, тоді як флоема здійснює переміщення органічних сполук, синтезованих у листках [12].

Така структурна організація кореневої системи забезпечує високий рівень функціональної ефективності рослини та сприяє адаптації кукурудзи до різноманітних ґрунтово-кліматичних умов [5, 12]

Стебло кукурудзи є основною осьовою структурою рослини, яка забезпечує просторову організацію вегетативних і генеративних органів. Воно має прямостоячу циліндричну форму і складається з вузлів та міжвузлів. У вузлах відбувається закладання листків, а також формування зачатків генеративних органів [21].

Анатомічна будова стебла характеризується складною організацією провідної системи. Провідні пучки розміщені у паренхімній тканині та забезпечують транспорт води, мінеральних елементів і органічних сполук між різними частинами рослини. Крім того, стебло містить добре розвинені механічні тканини, що забезпечують міцність і стійкість рослини [12].

Висота рослин кукурудзи значною мірою залежить від генетичних особливостей сорту або гібриду та умов вирощування. У середньому вона становить від 1,5 до 3 метрів, хоча окремі форми можуть перевищувати ці показники. Інтенсивність росту стебла визначається швидкістю поділу та розтягування клітин у зоні міжвузлів [4, 7, 18].

Окрім опорної функції, стебло виконує важливу роль у накопиченні та перерозподілі асимілянтів. У його тканинах можуть акумулюватися вуглеводи, які в подальшому транспортуються до генеративних органів і використовуються для формування зерна [18].

З анатомічної точки зору стебло кукурудзи характеризується складною будовою, яка поєднує елементи механічної міцності та ефективної провідної системи. Його тканини представлені епідермісом, основною паренхімою та численними провідними пучками, які розташовані дифузно в товщі стеблової тканини [18, 19, 23].

Провідні пучки є колатеральними та містять елементи ксилеми і флоеми, що забезпечують інтенсивний транспорт води, мінеральних елементів та органічних сполук між різними органами рослини. Навколо провідних пучків часто формуються механічні тканини – склеренхіма та коленхіма, які підвищують міцність стебла та запобігають його ламкості [12].

Листки кукурудзи є основними органами фотосинтезу і відіграють ключову роль у формуванні продуктивності рослини. Листок складається з листкової піхви, язичка та листкової пластинки. Листкова піхва охоплює стебло та забезпечує його механічну підтримку, тоді як листкова пластинка виконує функцію фотосинтетичної асиміляції [23].

Анатомічна будова листка кукурудзи характеризується специфічною організацією мезофілу, що пов’язано із С4-типом фотосинтезу. У тканинах листка чітко виражена так звана кранц-анатомія, за якої клітини мезофілу оточують клітини обкладки провідних пучків. Така будова забезпечує ефективну фіксацію вуглекислого газу та зменшує втрати енергії внаслідок фоторespірації. Поверхня листкової пластинки вкрита кутикулою, що зменшує втрати води через транспірацію. На епідермісі розташовані продихи, які регулюють газообмін і водний баланс рослини [16].

Кількість листків на рослині кукурудзи може варіювати від 8 до 20 і більше залежно від генотипу та умов вирощування. Їх просторове

розташування на стеблі забезпечує оптимальне використання світлової енергії та мінімізує взаємне затінення [6, 16].

Ефективність функціонування листкового апарату безпосередньо визначає продуктивність рослин кукурудзи. Саме в листках відбувається основний синтез органічних сполук, які згодом транспортуються до інших органів рослини. Інтенсивність фотосинтезу залежить від площі листкової поверхні, тривалості функціонування листків та їх просторової орієнтації відносно джерела світла [3, 20, 23].

Таблиця 1.3

Морфофункціональна характеристика основних органів кукурудзи [18, 23]

Орган	Морфологічна будова	Анатомічні особливості	Функціональна роль	Біологічне значення
Коренева система	Мичкувата, складається із зародкових, вузлових та опорних коренів	Ризодерма з кореневими волосками, провідний циліндр з ксилемою і флоемою	Поглинання води і мінеральних речовин	Забезпечує водний баланс і стійкість рослини
Стебло	Циліндричне, поділене на вузли та міжвузля	Дифузно розміщені провідні пучки, механічні тканини	Транспорт речовин, опора рослини	Формує архітектоніку рослини
Листки	Лінійно-ланцетні, з піхвою, язичком та пластинкою	Кранц-анатомія мезофілу	Фотосинтез і газообмін	Основне джерело органічних речовин
Волоть	Розгалужене верхівкове суцвіття	Численні колоски з тичинками	Формування пилку	Забезпечує запилення
Качан	Потовщена вісь з рядами жіночих квіток	Добре розвинені маточки зі стовпчиками	Формування зернівок	Основний орган врожайності
Зернівка	Односім’яний сухий плід	Ендосперм, зародок, оболонка	Запас поживних речовин	Розмноження та господарська цінність

Особливістю кукурудзи є наявність роздільностатевих суцвіть, розташованих на одній рослині. Така система називається однодомністю і є

важливим еволюційним механізмом, що сприяє перехресному запиленню та підтриманню генетичної різноманітності популяцій [18, 25].

Чоловіче суцвіття, волоть, розташоване на верхівці стебла і складається з численних колосків, у яких формуються тичинки з пилковими зернами. Пилок кукурудзи переноситься повітряними потоками, тому запилення має анемофільний характер. Жіноче суцвіття, качан, формується у пазухах листків і містить велику кількість жіночих квіток, кожна з яких має маточку з довгим стовпчиком. Ці стовпчики виходять назовні у вигляді ниткоподібних утворень –приймочок, які забезпечують уловлювання пилкових зерен [25].

Після запліднення відбувається формування плоду – зернівки, яка є основною господарсько цінною частиною рослини. У структурі зернівки виділяють оболонку, ендосперм та зародок. Ендосперм містить значну кількість запасних речовин, зокрема крохмалю, білків та ліпідів, що забезпечують розвиток проростка [25].

Важливо підкреслити, що функціонування окремих органів кукурудзи має системний характер і відбувається у тісній взаємодії між собою. Коренева система забезпечує надходження води та мінеральних елементів, листковий апарат здійснює синтез органічних речовин, а стебло виступає провідною ланкою у транспорті метаболітів між різними частинами рослини. Генеративні органи, у свою чергу, акумулюють продукти фотосинтезу та забезпечують відтворення виду. Така інтеграція морфологічних структур формує єдину функціональну систему рослинного організму, що забезпечує ефективну реалізацію його біологічного потенціалу [7, 18].

Таким чином, морфофункціональна організація кукурудзи характеризується високим рівнем структурної спеціалізації органів, що забезпечує ефективне здійснення основних життєвих процесів рослини. Вегетативні органи формують основу метаболічної діяльності рослинного організму, забезпечуючи поглинання ресурсів середовища, фотосинтез та транспортування метаболітів. Генеративні органи, у свою чергу, реалізують репродуктивну функцію та забезпечують формування врожаю. Узгоджене

функціонування всіх морфологічних структур визначає високий рівень біологічної продуктивності кукурудзи та її важливе значення у сучасному землеробстві [18, 20, 23]

1.3. Біологічні закономірності росту та розвитку кукурудзи в онтогенезі

Онтогенез рослин являє собою складний і багатокомпонентний процес індивідуального розвитку організму, що охоплює всі етапи його існування – від моменту формування зародка до завершення життєвого циклу. Для культурних рослин, зокрема кукурудзи (*Zea mays L.*), дослідження закономірностей онтогенетичного розвитку має важливе наукове та практичне значення, оскільки дозволяє глибше зрозуміти механізми формування врожаю, встановити критичні періоди росту та визначити фактори, що впливають на продуктивність культури [14].

Онтогенез кукурудзи характеризується послідовною зміною морфологічних, анатомічних і фізіологічних станів рослинного організму. Кожна стадія розвитку супроводжується певними морфогенетичними процесами, які визначають формування нових органів, зміну функціональної активності тканин та перебудову метаболічних систем. У процесі індивідуального розвитку рослина проходить низку взаємопов’язаних фаз, що відображають закономірності її росту, диференціації та репродуктивного функціонування [14–15]

Розвиток кукурудзи починається із проростання насіння, яке є складним фізіологічним процесом, що включає активацію метаболічної діяльності зародка, гідратацію тканин та мобілізацію запасних поживних речовин ендосперму. Під впливом води та оптимальної температури відбувається інтенсивне відновлення ферментативної активності, що забезпечує гідроліз запасних речовин і їх використання для росту проростка [14–15]

На анатомічному рівні проросток формується із добре диференційованих тканин зародка. Зародковий корінець складається з

ризодерми, кори та провідного циліндра, що забезпечує раннє поглинання води і мінеральних речовин. Колеоптиль прикриває зародковий пагін і має міцні коленхімні клітини, що забезпечують механічний захист молодого листка під час виходу на поверхню ґрунту. Активізація ферментативної системи включає гідролітичні ферменти, які розщеплюють крохмаль та білки ендосперму, забезпечуючи проросток енергією та будівельними речовинами [15].

Першою морфологічною структурою, яка з'являється під час проростання, є зародковий корінець, що забезпечує первинне закріплення рослини у ґрунті та початкове поглинання води. Після цього формується колеоптиль – захисна структура, яка охоплює зародковий пагін і сприяє його виходу на поверхню ґрунту. Коли проросток досягає поверхні, колеоптиль розкривається, і починається формування першого листка [14, 20].

На наступному етапі розвитку відбувається інтенсивне формування вегетативних органів рослини. У цей період активно розвиваються листки, стебло та коренева система, що забезпечує збільшення асиміляційної поверхні та посилення фотосинтетичної активності. Вегетативна фаза розвитку характеризується інтенсивним ростом рослини, накопиченням органічної маси та формуванням структур, необхідних для подальшого переходу до генеративного етапу [14, 20].

Вегетативна фаза характеризується тісною координацією між ростом стебла, листків та кореневої системи. Зростання міжвузлів стимулюється ауксинами, тоді як формування листків та фотосинтетичної тканини регулюється балансом гіберелінів і цитокінінів. Синтез хлорофілу та активність фотосинтетичних ферментів визначають накопичення асимілятів, які згодом транспортуються до формуючихся генеративних органів [23].

У процесі вегетативного розвитку кукурудзи відбувається формування листкового апарату, який забезпечує фотосинтетичну активність рослини. Кожен новий листок формується у точці росту, що розташована у верхівковій частині стебла. Зростання міжвузлів призводить до поступового підняття

точки росту над поверхнею ґрунту, що сприяє інтенсивному вертикальному росту рослини [18, 23].

Важливою особливістю розвитку кукурудзи є синхронність процесів формування листків та закладання генеративних органів. Уже на ранніх стадіях розвитку у меристемі закладаються зачатки майбутніх суцвіть. Цей процес регулюється складною системою гормональної регуляції, у якій беруть участь фітогормони – ауксини, гібереліни, цитокініни та абсцизова кислота [10, 14].

Важливим аспектом онтогенетичного розвитку кукурудзи є складна система молекулярно-генетичної регуляції, що забезпечує координацію процесів клітинного поділу, диференціації тканин і формування органів. Сучасні дослідження у галузі молекулярної біології рослин свідчать, що ріст і розвиток кукурудзи контролюються інтегрованою мережею генетичних та біохімічних сигналів, які регулюють активність меристематичних тканин, формування листкового апарату та закладання генеративних структур [14].

Ключову роль у регуляції ростових процесів відіграють фітогормони – низькомолекулярні біологічно активні сполуки, що функціонують як внутрішні сигнальні молекули рослинного організму. До основних регуляторів онтогенетичного розвитку кукурудзи належать ауксини, гібереліни, цитокініни, абсцизова кислота та етилен. Їх взаємодія забезпечує координацію морфогенетичних процесів і визначає інтенсивність росту окремих органів [8].

Ауксини відіграють провідну роль у регуляції поділу та розтягування клітин, формуванні провідних тканин і полярності росту рослини. У меристематичних тканинах кукурудзи вони стимулюють активність клітинного циклу та забезпечують диференціацію нових органів. Гібереліни, у свою чергу, сприяють подовженню міжвузлів, стимулюють синтез ферментів, що беруть участь у мобілізації запасних речовин, а також активізують процеси переходу рослини до генеративної фази розвитку [10].

Цитокініни регулюють інтенсивність клітинного поділу, підтримують функціонування меристем і впливають на формування листкового апарату. Вони також відіграють важливу роль у підтриманні фотосинтетичної активності листків, сповільнюючи процеси старіння тканин. Абсцизова кислота виконує переважно регуляторно-адаптаційну функцію, контролюючи реакції рослин на несприятливі умови середовища, зокрема водний дефіцит або температурний стрес [5, 10].

На молекулярному рівні ріст і розвиток кукурудзи визначаються експресією численних генів, які контролюють активність ферментів, структурних білків і сигнальних молекул. Особливу роль відіграють регуляторні гени, що контролюють формування суцвіть та архітектоніку рослини. Наприклад, гени, пов’язані з функціонуванням меристем, визначають закладання волоті та качанів, а також координують диференціацію генеративних тканин [8].

Функціонування цих генетичних систем забезпечує точну синхронізацію процесів росту різних органів рослини. У результаті формується цілісна морфологічна структура рослинного організму, здатна ефективно здійснювати фотосинтез, транспортування асимілянтів і формування репродуктивних органів [10, 12].

Слід підкреслити, що регуляція онтогенезу кукурудзи має багаторівневий характер і включає взаємодію генетичних, гормональних та екологічних факторів. Саме інтеграція цих механізмів забезпечує високу пластичність культури та її здатність адаптуватися до різноманітних умов середовища. Взаємодія внутрішніх регуляторних систем із зовнішніми факторами середовища визначає темпи росту рослин, тривалість окремих фаз розвитку та рівень реалізації їх продуктивного потенціалу [8, 20].

Вегетативний розвиток рослини супроводжується активним формуванням кореневої системи. На цьому етапі відбувається утворення вузлових коренів, які забезпечують основну частину поглинальної поверхні рослини. Розвиток кореневої системи тісно пов’язаний із забезпеченістю

рослини водою та мінеральними елементами, що визначає інтенсивність її росту [20].

Перехід кукурудзи від вегетативної до генеративної фази є важливим етапом онтогенезу, що супроводжується значними морфологічними та фізіологічними змінами. На цьому етапі відбувається формування чоловічих і жіночих суцвіть, що забезпечують процеси статевого розмноження [20].

Закладання волоті та качанів відбувається у верхівковій та пазушній меристемах відповідно. Клітинна диференціація включає формування тичинок із пилковими мікроспорами та маточок із приймочками. Процес генеративного розвитку регулюється гормональною системою, де ауксини стимулюють поділ клітин, гібереліни – подовження тканин, а абсцизова кислота забезпечує контроль росту та адаптацію до стресових умов. Часовий розрив між формуванням чоловічих і жіночих квіток (протандрія) сприяє перехресному запиленню та підтримці генетичного різноманіття [20].

Чоловіче суцвіття – волоть – формується у верхівковій частині стебла, тоді як жіночі суцвіття – качани – розвиваються у пазухах листків. Процес диференціації квіток супроводжується складними фізіологічними процесами, включаючи активізацію синтезу білків, нуклеїнових кислот та інших біологічно активних речовин. Однією з характерних особливостей розвитку кукурудзи є часовий розрив між формуванням чоловічих і жіночих квіток, який сприяє перехресному запиленню. Пилок переноситься повітряними потоками і потрапляє на приймочки жіночих квіток, що забезпечує процес запліднення [13–14, 20].

Після запліднення розпочинається процес формування плоду – зернівки. На початкових етапах розвитку зерна відбувається інтенсивний поділ клітин ендосперму та зародка, що визначає майбутній розмір зернівки. У подальшому активізується процес накопичення запасних речовин, зокрема крохмалю, білків і ліпідів [14-20].

Зернівка складається з ендосперму, зародка та зовнішньої оболонки. Ендосперм у фазі наливу характеризується активним поділом та збільшенням

розміру клітин, синтезом і накопиченням крохмалю, білків і ліпідів. Зародок, розташований у базальній частині зерна, формує основні органи майбутньої рослини. Оболонка захищає зерно від механічних пошкоджень і втрат вологи. Транспорт асимілянтів із листків і стебла до зернівки забезпечує флоемна система, а інтенсивність цього процесу є ключовим фактором формування майбутньої [14-20].

Ендосперм є основним резервуаром поживних речовин у зерні кукурудзи. Його клітини накопичують крохмальні гранули та білкові включення, які забезпечують енергетичні потреби проростка під час наступного циклу розвитку. Фаза наливу зерна характеризується активним транспортом асимілянтів із листків та стебла до качана. Інтенсивність цього процесу значною мірою визначає майбутню врожайність культури. Після завершення накопичення поживних речовин зернівка поступово переходить у стан фізіологічної стиглості [20, 23].

Ріст і розвиток кукурудзи визначаються складною взаємодією генетичних та екологічних факторів. До найважливіших чинників, що впливають на перебіг онтогенезу, належать температура, освітлення, водний режим та забезпеченість рослин мінеральними елементами [20].

Температурний режим відіграє ключову роль у регуляції швидкості ростових процесів. Кукурудза належить до теплолюбних культур, оптимальна температура для її росту становить приблизно 25–30°C. За зниження температури сповільнюються метаболічні процеси, що негативно впливає на розвиток рослини [14].

Світло є основним джерелом енергії для фотосинтезу, тому інтенсивність освітлення безпосередньо впливає на накопичення органічної маси. Висока фотосинтетична активність листкового апарату забезпечує ефективне формування врожаю. Водний режим також має важливе значення для розвитку рослин кукурудзи. Найбільш критичними періодами щодо забезпечення вологою є фази формування генеративних органів та наливу

зерна. Температурний, світловий та водний режими взаємопов'язані і визначають швидкість проходження онтогенетичних фаз. [20].

З огляду на складність і багаторівневість процесів індивідуального розвитку кукурудзи доцільно узагальнити основні етапи її онтогенезу та пов'язані з ними морфологічні й фізіологічні особливості. Систематизація цих процесів дозволяє більш чітко простежити послідовність формування органів рослини, визначити ключові періоди інтенсивного росту та встановити їх біологічне значення у формуванні врожайності культури. Узагальнену характеристику основних фаз онтогенетичного розвитку кукурудзи наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4

Основні фази онтогенетичного розвитку кукурудзи [14, 20]

Фаза розвитку	**Морфологічні особливості**	**Анатомічні та фізіологічні процеси**	**Біологічне значення**
Проростання	Формування зародкового кореня і колеоптиля	Активація ферментів, гідроліз запасних речовин ендосперму, ріст проростка	Початок життєвого циклу, забезпечення водного та поживного балансу
Вегетативний ріст	Формування листків, стебла, кореневої системи	Інтенсивний фотосинтез, накопичення органічної маси, гормональна регуляція росту	Формування асиміляційного апарату та структури рослини

Продовження таблиці 1.4

Формування суцвіть	Закладання волоті та качанів	Диференціація тканин квіток, активний синтез білків і нуклеїнових кислот, гормональна регуляція	Підготовка до розмноження, визначення потенціалу врожайності
Цвітіння	Виділення пилку, запилення	Запліднення, перехресне запилення, активність флоеми	Формування зародка, забезпечення генетичного різноманіття

Формування зерна	Ріст зернівок, збільшення ендосперму	Накопичення крохмалю, білків, ліпідів; розвиток зародка; інтенсивний транспорт асимілянтів	Основний період формування врожаю, визначає масу і якість зерна
Дозрівання	Фізіологічна стиглість зерна	Завершення метаболічних процесів, дегідратація, стабілізація запасних речовин	Завершення життєвого циклу, підготовка до наступного покоління

Аналіз наведених у таблиці даних свідчить, що онтогенез кукурудзи характеризується чіткою послідовністю морфологічних і фізіологічних змін, які забезпечують поступове формування структур рослинного організму та реалізацію його репродуктивної функції. Кожна фаза розвитку виконує специфічну біологічну роль і супроводжується активацією певних метаболічних процесів. Початкові етапи онтогенезу пов’язані переважно з формуванням вегетативних органів та накопиченням органічної маси, тоді як подальші стадії характеризуються переходом рослини до генеративного розвитку та формуванням репродуктивних структур [14, 20].

Таким чином, онтогенез кукурудзи є складним багатоступеневим процесом, що включає послідовну зміну морфологічних і фізіологічних стадій розвитку рослини. Кожен етап онтогенезу характеризується специфічними біологічними процесами, які визначають формування структур рослинного організму та реалізацію його продуктивного потенціалу.

РОЗДІЛ 2.
МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Матеріал дослідження та його характеристика

Матеріалом для дослідження було обрано насіння кукурудзи – Кремінь 200 СВ Степова (рис. 2.1). Насіння урожаю 2025 року. Виробник – компанія «Степова» (Оригінатор: ТОВ Науково-промислова агрокорпорація «Степова»

та Державна установа «Інститут зернових культур Національної академії аграрних наук України).



Рис. 2.1. Насіння кукурудзи (*Zea mays L.*) гібриду Кремінь 200 СВ Степова

Гібрид кукурудзи Кремінь 200 СВ Степова – це трилінійний середньоранній гібрид (ФАО 210), який має високу та стабільну урожайність. Рекомендований для вирощування в зонах Степу, Лісостепу та Полісся [32].

Не кущиться, на головному стеблі приблизно 15 листків. Висота рослини сягає 250-270 см. Форма качана циліндрична. Його довжина сягає 23-24 см. Має 12-14 рядів зерен, по 37-40 зерен у кожному. Зерна майже крем'янисті, жовтого кольору. Маса 1000 штук зерен становить 260-280 г [32].

Потенціал врожайності сухого зерна становить 120-125 ц/га [32].

2.2. Характеристика препарату «ГуміФренд»

Для біопраймінгу застосовували препарат «ГуміФренд» від виробника ПП «БТУ-Центр» (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Добриво «ГуміФренд»

«ГуміФренд» – це комплексне добриво на основі гумату калію з мікроорганізмами. До складу «ГуміФренду» входять: калійні солі гумінових та фульвових кислот; комплекс мікроорганізмів роду *Bacillus* з фунгіцидами та рістстимулюючими властивостями; БАР (амінокислоти, пептиди, полісахариди, бурштинова кислота); мікроелементи (сірка, магній, цинк, залізо, марганець, бор, мідь, кремній, молібден, кобальт).

Препарат є безпечним для людей, тварин та корисних комах. Виробник зазначає, що препарат чинить такий позитивний вплив на рослини:

- підвищує врожайність і якість с/г продукції;
- активує ріст і розвиток кореневої системи й надземної частини рослин;
- підвищує стійкість рослин до заморозків, посухи, високих температур, дефіциту вологи;
- оздоровлює ґрунт і відновлює його родючість;
- підвищує стійкість рослин до грибних, бактеріальних хвороб за рахунок заселення в ґрунт корисних мікроорганізмів;
- прискорює надходження в рослину поживних речовин і підвищує коефіцієнт їх використання.

Крім того, «ГуміФренд» виступає як допоміжний засіб у профілактиці хлорозу.

«ГуміФренд» можна використовувати для обробки насіння перед висіванням, для обприскування рослин та для кореневого підживлення. Згідно з інструкцією, для обробки насіння овочевих культур, його потрібно замочити на 1-2 години в день висіву у робочому розчині: 35 мл препарату додати у 0,25-0,5 л води (на 1 кг насіння). У роботі ми використовували 0,25 %, 1 %, 5 % робочі розчини «ГуміФренду».

2.3. Передпосівна підготовка та умови вирощування

Посівний матеріал висівали на субстрат «Поліський» універсальний від виробника ТзОВ «Rich Land» (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Ґрунтовий субстрат для висівання кукурудзи

Передпосівна підготовка складалась з таких етапів:

1) Попереднє промивання посівного матеріалу під проточною водою від забруднень.

2) Відбракування некондиційного насіння за візуальними ознаками за допомогою лупи 2- та 4-кратного збільшення (макротравми ендосперму, мікротравми ендосперму, мікротравми зародка, травмування оболонки над зародком, деформація насінини).

3) Замочування насіння у лабораторній склянці у воді на 1 год. Після зазначеного часу непридатний для вирощування посадковий матеріал спливає на поверхню води, а придатне – осідає на дні.

4) Замочування насіння у 0,02 % розчині борної кислоти (H_3BO_3) для підвищення схожості та енергії росту на 12 годин. Спочатку 0,2 г H_3BO_3

розчиняємо у гарячій воді, потім – доводимо об’єм розчину до 1 л проточною водою.

5) Стерилізація посадкового матеріалу у розчині аптечного 3% перекису водню (H_2O_2) на 10 хвилин. Після цього промиваємо насіння проточною водою 2-3 рази.

6) Оброблене насіння розділили на 4 групи: 1 група – контроль, інші 3 групи – для подальшої обробки «ГуміФрендом» (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Групи насіння перед висаджуванням

7) Контрольну групу замочуємо на 2 години у дистильованій воді.

8) 3 групи насіння, які залишились замочуємо на 2 години у розчині «ГуміФренду» з концентраціями 0,25 %, 1 %, 5 % відповідно.

9) Одразу після замочування висаджуємо насіння у пластикові харчові контейнери для зберігання Diomedea MultiBox (30 л) з грунтом на глибину 4 см. Температура грунту – 12-14°С.

Тривалість досліду становила 25 днів.

Усі дослідні групи поливали водою кімнатної температури, підтримуючи вологий ґрунт. Вирощування кукурудзи проводили за температури 14-16°С.

2.4. Методика визначення росту та розвитку

Рослини з усіх контейнерів на 25-ий день були обережно вилучені.

Були визначені такі показники:

– загальна довжина рослини;

- довжина кореневої системи рослини;
- довжина пагона;
- кількість листків.

Відсоток схожості насіння підраховували як відношення пророщених пагонів до загальної кількості посаджених насінин.

Загальну довжину рослини вимірювали мірною стрічкою від кінця найдовшого кореня до вершини найбільшого листка. Усі рослини у дослідній групі були виміряні та вирахувано середній показник.

Довжину кореневої системи вимірювали як довжину найбільшого кореня мірною стрічкою. При наявності чітко виражених додаткових чи бічних корінців фіксували їх наявність. Усі рослини у дослідній групі були виміряні та вирахувано середній показник.

Довжину пагона вимірювали мірною стрічкою від насінини до вершини найбільшого листка. Усі рослини у дослідній групі були виміряні та вирахувано середній показник.

РОЗДІЛ 3.
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Схожість насіння кукурудзи за біопраймінгу препаратом «ГуміФренд»

Перші сходи кукурудзи з’явились на 10 день після висаджування. Кінцевий результат обраховували на 25-ий день росту (рис. 3.1). Схожість насіння кукурудзи порівнювали з аналогічним показником контрольної групи, насіння якої не піддавали обробці препаратом «ГуміФренд».



Рис. 3.1. Рослини кукурудзи (*Zea mays L.*) гібриду Кремінь 200 СВ Степова на 25 день вегетації

Було підраховано кількість рослин у кожній із дослідних ділянок та вирахувано відсоток схожості. Дані занесені у таблицю 3.1.

Таблиця 3.1.

Схожість кукурудзи (*Zea mays L.*) гібриду Кремінь 200 СВ Степова за обробки різними концентраціями «ГуміФренду»

Дослідна група	Схожість насіння, шт.	Відсоток схожості, %
№ 1 – контрольна група	4/5	80 %
№ 2 – «ГуміФренд» (2,5 мл/л)	5/5	100 %
№ 3 – «ГуміФренд» (10 мл/л)	5/5	100 %
№ 4 – «ГуміФренд» (50 мл/л)	5/5	100 %

У контрольній групі схожість насіння становила 80% – проросло 4 насінин з 5. Це є нормальна природна схожість насіння в умовах досліду. Схожість насіння в інших групах порівнювалась саме з цим показником.

У всіх інших дослідних групах, які піддавались дії біопрепарату (незалежно від концентрації робочого розчину), схожість насіння досягла 100% – проросли всі 5 насінин з 5. Це вказує на те, що навіть мінімальна концентрація препарату, яка була протестована у роботі (2,5 мл/л), є достатньою для максимальної активації фізіологічних процесів проростання.

3.2. Морфометричні показники кукурудзи за дії біопраймінгу

На 25-день вегетації були визначені такі показники: загальна довжина рослини; довжина кореневої системи рослини; довжина пагона; кількість листків. Морфометричні показники рослин порівнювали з аналогічними показниками контрольної групи, насіння якої не піддавали обробці препаратом «ГуміФренд».

Ілюстрації проведених морфометричних аналізів дослідних рослин подано на фотознімках (рис. 3.2). Усі виміри були занесені у таблицю 3.2.



Рис. 3.2. Ілюстрації проведення морфометричних аналізів дослідних рослин контрольної та дослідних груп: А – контроль; Б – «ГуміФренд» (2,5 мл/л); В – «ГуміФренд» (10 мл/л); Г – «ГуміФренд» (50 мл/л).

Таблиця 3.2

Результати морфометричних вимірювань у контрольній та дослідних групах

Дослідна група	Номер рослини	Довжина пагона	Довжина кореня	Загальна довжина рослини	Додаткові корінці	Кількість листків
Контроль	1.1	12	29	41	немає	2
	1.2	15,5	33	48,5	є	3
	1.3	17	37	54	немає	3
	1.4	9	30	39	немає	2
x		**13,38**	**32,25**	**45,63**		**2,50**
№ 2 ГуміФренд (2,5 мл/л)	2.1	15	29	44	немає	3
	2.2	14	35	49	є	3
	2.3.	19	25	44	є	3
	2.4	19	35	54	є	3
	2.5	15	22	37	є	3
x		**16,40**	**29,20**	**45,60**		**3**
№ 3 ГуміФренд (10 мл/л)	3.1	20	20	40	є	2
	3.2	15	43	58	немає	3
	3.3	21	33	54	немає	3
	3.4	20	41	61	є	3
	3.5	21	34	55	є	3
x		**19,40**	**34,20**	**53,60**		**3,00**
№ 4 ГуміФренд (50 мл/л)	4.1	19	55	74	немає	3
	4.2	10	27	37	є	3
	4.3	20	21	41	є	2
	4.4	28	33	61	є	2
	4.5	14	41	55	є	2
x		**18,20**	**35,40**	**53,60**		**2,40**

Отримані дані були структуровані у вигляді стовпчастої гістограми, на якій подано середні значення морфометричних показників довжини кореня, довжини пагона, загальної довжини рослини з кожної групи (рис. 3.3)



Рис. 3.3. Морфометричні показники довжини пагона та кореня у рослинах різних досліджуваних груп

Було проведено комплексний аналіз впливу біопрепарату «ГуміФренд» у різних концентраціях на морфологічні та біометричні показники рослин. Це

дозволило встановити характер його ростостимулювальної дії порівняно з контрольними зразками.

3.3. Аналіз отриманих результатів

Насіння кукурудзи гібриду Кремінь 200 СВ Степова було обрано через порівняно низьку травмованість насіння [31]. Таким чином, схожість та розвиток насіння не мав залежати від збирання, зберігання, транспортування і т.д. Схожість у дослідних групах, у яких використовувався «ГуміФренд» становила 100 %.

Гумати та фульвокислоти, які входять до складу препарату, діють як природні неспецифічні біостимулятори:

- підвищують проникність клітинних мембран насіннєвої оболонки для води та поживних речовин;
- активують ферментативну систему насіння.

В результаті гідролітичні ферменти (амілази, протеази) розщеплюють крохмаль та білки ендосперму до простих рухливих сполук. Це прискорює метаболізм у насінні, покращує живлення зародка.

Отже, передпосівна обробка насіння препаратом «ГуміФренд» має стимулювальний ефект схожості насіння кукурудзи гібрида Кремінь 200 СВ в лабораторних умовах . Ефект 100 % схожості за дії «ГуміФренду» зумовлений синергетичною дією його компонентів на етапі набрякання та наклювування насіння.

Дослідження лінійних параметрів вегетативної системи рослин показало виражений позитивний вплив препарату на процеси подовження пагона в усіх досліджуваних варіантах. У контрольній групі середня довжина пагона становила 13,38 см, тоді як за умов застосування мінімальної концентрації препарату 2,5 % цей показник зріс на 22,6 % і становив 16,40 см. Найвищу ефективність щодо стимуляції росту надземної частини зафіксовано при використанні концентрації 1 %, де середня довжина пагона досягла

максимуму – 19,40 см (на 45,0 % більше, ніж у контрольній групі). Подальше збільшення концентрації «ГуміФренду» до 5 % призвело до незначного зниження динаміки росту пагона (до 18,20 см). Водночас, варто відмітити, що і цей показник є вищим, ніж за відсутності біопраймування препаратом «ГуміФренд».

Аналіз розвитку коренів виявив іншу закономірність, яка вказує на специфічність реагування кореневої системи на насиченість середовища діючими речовинами. За мінімальної концентрації препарату 2,5 мл/л спостерігалося певне стримування лінійного росту головного кореня – його середня довжина зменшилася до 29,20 см порівняно з 32,25 см у контролі. Проте вищі концентрації активували ростові процеси в кореневій зоні: при концентрації 1 % довжина кореня збільшилася до 34,20 см, а при максимальній концентрації 5 % було досягнуто найбільшого значення серед усіх варіантів – 35,40 см. Важливою морфологічною особливістю дії «ГуміФренду» стала інтенсифікація процесів ризогенезу: і низька, і висока концентрація «ГуміФренду» продовжувала стимулювати розвиток додаткових корінців.

Порівнюючи морфометричні показники загальної довжини рослин контрольної групи та групи з 0,25 % «ГуміФрендом», бачимо, що різниця відсутня. Водночас варто звернути увагу на розподіл довжини кореня та погона: у контрольній групі в порівнянні з групою з 0,25 % «ГуміФрендом», вищі показники довжини кореня, але нижчі показники довжини пагона. За інтегральним показником загальної довжини рослини було зафіксовано однотипову високу ефективність для варіантів із концентраціями 1 % та 5 %, де середня загальна довжина склала 53,60 см проти 45,63 см у контролі, що свідчить про суттєву оптимізацію загального габітусу досліджуваних культур. Оцінка розвитку асиміляційного апарату за кількістю листків продемонструвала, що найвищі показники листоутворення (в середньому 3 листка) забезпечують концентрації 2,5 % та 1 %. Водночас надмірне збільшення дози препарату до 5 % спричиняло певний інгібувальний ефект на формування листових пластинок, знижуючи їх середню кількість, що

виявилося навіть дещо нижчим за рівень контрольної групи. . Очевидно, більше енергії йде на накопичення речовин та розвиток уже існуючих структур.

Можна зробити висновок, що «ГуміФрендом» за низької концентрації сприяє утворенню мичкуватої кореневої системи кукурудзи, через що рослина одразу має більше поживних та мінеральних речовин, що дозволяє їй розвивати надземну частину. Збільшення концентрації «ГуміФренду» до 1 % підвищує показники як довжини пагона, так і довжини кореня. При цьому розвиток пагона, в порівнянні з контрольною групою, має більший приріст, ніж кореня.

Таким чином, узагальнення експериментальних даних дозволяє зробити висновок, що оптимальною та найбільш збалансованою для гармонійного розвитку як надземної, так і підземної частин рослин є концентрація препарату «ГуміФренд» у концентрації 1 %, тоді як низькі концентрації мають переважно пагоностимулювальний характер, а високі дози зміщують вектор розвитку в бік інтенсифікації росту кореневої системи із помітним пригніченням листоутворення.

ВИСНОВКИ

Морфофункціональна організація кукурудзи забезпечує ефективне здійснення основних життєвих процесів рослини: вегетативні органи формують основу метаболічної діяльності рослинного організму; генеративні органи реалізують репродуктивну функцію та забезпечують формування врожаю. Узгоджене функціонування всіх морфологічних структур визначає високий рівень біологічної продуктивності кукурудзи та її важливе значення у сучасному землеробстві.

1. Показано, що препарат «ГуміФренд» чинить досить помітний вплив на розвиток та ріст кукурудзи, стимулюючи формування мичкуватої кореневої системи на ранніх етапах розвитку.

2. Низькі концентрації препарату «ГуміФренд» (0,25 %) не впливають на ріст надземної частини рослини, а лише укріплюють її кореневу систему, шляхом формування додаткових корінців.

3. Відмічено помітний вплив обробки насіння 1%-відсотковим розчином препарату «ГуміФренд» на ріст рослин кукурудзи, а саме збільшення морфометричних показників надземної та підземної частин рослин.

4. Підвищення концентрації препарату «ГуміФренд» до 5 % не є виправданим з точки зору зростання лінійних показників кореня та пагона. Більше того, за дії 5 %-відсоткового розчину препарату спостерігається сповільнення розвитку рослини, що проявляється і меншій кількості сформованих листків у порівнянні з іншими досліджуваними групами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ali A. A. Maize productivity in the new millennium. *Mitigating environmental stresses for agricultural sustainability in Egypt*. Cham: Springer International Publishing. 2021. P. 509–535.

2. Chaplygin M., Podzorov A., Podzorova M., Alchimbayeva. Modern approaches to technology of cultivation of corn. *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, 2020. Vol. 193. P. 01032.

3. Corn root morphoanatomy at different development stages and yield under water stress / T. C. Souza et al. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2016. Vol. 51, No 4. P. 330–339.

4. Corn: its structure, polymer, fiber, composite, properties, and applications / Mohammed A. A. B. A. et al. *Polymers*. 2022. Vol. 14, No 20. P. 4396.

5. Dynamic structural adjustments in root system architecture of aquatic adventitious roots for resource acquisition in *Salix viminalis* L. under waterlogging stress / Zhai F. et al. *Plant and Soil*. 2026. P. 1–17.

6. Effect of β-mannanase enzyme supplementation on the morphofunctional state of broiler chickens' immunocompetent organs / A. V. Oliyar et al. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2020. Vol. 11, No 4.

7. García-Lara S., Serna-Saldivar S. O. Corn. Chemistry and Technology. Elsevier, 2019. 674 p. P. 1-18.

8. Genetic and molecular control of grain yield in maize / H. Zhang et al. *Molecular Breeding*. 2021. Vol. 41, No 3. P. 18.

9. Genetic insights into the modification of the pre-fertilization mechanisms during plant domestication / S. Manrique et al. *Journal of Experimental Botany*. 2019. Vol. 70, No 11. P. 3007–3019.

10. Gomes G. L. B., Scortecci K. C. Auxin and its role in plant development: structure, signalling, regulation and response mechanisms. *Plant Biology*. 2021. Vol. 23, No 6. P. 894–904.

11. Hagenau L. Identification of regulators and effectors of single-cell C4 morphology by comparative transcriptomics of dark-grown cotyledons of the single-

cell C4 plant *Bienertia sinuspersici* and the related C3 plant *Suaeda heterophylla* : thesis … master's degree. 2017. 130 p.

12. Inter-and intraxylary phloem in vascular plants: a review of subtypes, occurrences, and development / K. S. Rajput et al. *Forests*. 2022. Vol. 13, No 12. P. 2174.

13. Kumar A., Singh N. K., Adhikari S., Joshi A. Morphological and molecular characterization of teosinte derived maize population. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2019. Vol. 79, No 4. P. 670–677.

14. Li Q., Liu N., Wu C. Novel insights into maize (*Zea mays*) development and organogenesis for agricultural optimization. *Planta*. 2023. Vol. 257, No 5. P. 94.

15. Li Y. Y. et al. Embryology of *Anoectochilus roxburghii*: seed and embryo development. *Botanical Studies*. 2019. Vol. 60, No 1. P. 6.

16. Mai K. K. K., Gao P., Kang B. H. Electron microscopy views of dimorphic chloroplasts in C4 plants. *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 11. P. 1020.

17. Molecular characterization of teosinte branched1 gene governing branching architecture in cultivated maize and wild relatives / N. R. Prakash et al. *3 Biotech*. 2020. Vol. 10, No 2. P. 77.

18. Moore K. J. Grass morphology. *Forages.* Vol. 2: *The Science of Grassland Agriculture*. 2020. P. 23.

19. Morphological and phenological diversity of pod corn (*Zea mays* var. *Tunicata*) from Mexico and its functional traits under contrasting environments / T. Romero-Cortes et al. *Plants*. 2026. Vol. 15, No 2. P. 280.

20. Nleya T., Chungu C., Kleinjan J. Corn growth and development. *Grow Corn Best Management Practices*. 2016. Vol. 722. P. 1–10.

21. Okeke F. O., Ahmed A., Imam A., Hassanin H. Harnessing the bio-structure of corncobs: connecting morphology to mechanical attributes for sustainable building materials. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2026. Vol. 28, No 3. P. 70.

22. Organic matter–microorganism–plant in soil bioremediation: a synergic approach / G. Masciandaro et al. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 2013. Vol. 12, No 4. P. 399–419.

23. Primo-Millo E., Agustí M. Vegetative growth. *The Genus Citrus*. Woodhead Publishing, 2020. P. 193–217.

24. Revilla P., Anibas C. M., Tracy W. F. Sweet corn research around the world 2015–2020. *Agronomy*. 2021. Vol. 11, No 3. P. 534.

25. Saunders M. E. Insect pollinators collect pollen from wind-pollinated plants: implications for pollination ecology and sustainable agriculture. *Insect Conservation and Diversity*. 2018. Vol. 11, No 1. P. 13–31.

26. Sots S. M., Bnyiak O. V., Valevskaya L. O. Use of corn grain in production of food products. *Зернові продукти і комбікорми*. 2018. № 2 (18). С. 20–25.

27. Stitzer M. C., Ross-Ibarra J. Maize domestication and gene interaction. *New Phytologist*. 2018. Vol. 220, No 2. P. 395–408.

28. Utilizing genetic diversity for maize improvement B. Chen et al. *Maize Genomics and Genetics*. 2024. Vol. 15, No 3. P. 136–146.

29. Wang J., Hu X. Research on corn production efficiency and influencing factors of typical farms: Based on data from 12 corn-producing countries from 2012 to 2019. *PLoS ONE*. 2021. Vol. 16, No 7. P. e0254423.

30. Wilkes G. Maize: domestication, racial evolution, and spread. *Foraging and Farming*. Routledge, 2014. P. 440–455.

31. Кирпа М. Я., Пащенко Н. О., Базілєва Ю. С. Природа травмування насіння кукурудзи та методи його визначення. *Селекція і насінництво*. 2009. № 97. С. 196–202.

32. Кремінь 200 СВ кукурудза. *Agroplant*: веб-сайт. URL: https://agroplant.com.ua/kukuruza-kremen-200-sv