

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Навчально-науковий інститут агротехнологій, селекції та екології**  
**Кафедра біотехнології та хімії**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

На здобуття ступеня вищої освіти

бакалавр

на тему: «**Біотехнологічний підхід до праймінгу насіння сої  
(Glycine max)»**

Виконав: здобувач вищої  
освіти за освітньою  
програмою Біотехнології та  
біоінженерія спеціальності  
162 Біотехнології та  
біоінженерія ступеня вищої  
освіти бакалавр групи ББ-41  
Бей К.С.

Керівник: Сахно Т.В.

Рецензент: Міленко О.Г.

**Полтава – 2024**

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Навчально-науковий інститут агротехнологій, селекції та екології**  
**Кафедра біотехнології та хімії**

Освітньо-професійна програма Біотехнології та біоінженерія  
Спеціальність 162 Біотехнології та біоінженерія  
Рівень вищої освіти бакалаврський

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Ромашко Т.П.

---

«11» «вересня» 2024 року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**  
**Бей Каріни Станіславівни**

1. Тема роботи: **«Біотехнологічний підхід до праймінгу насіння»**, керівник роботи д.х.н, с.н.с. Сахно Т. В.

Затверджено засіданням кафедри протокол № 3 від «11» вересня 2023 р.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи «10» червня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: 1.Ляшенко В. В., Сахно Т. В. і інш. Фізіологічна реакція рослин сортів гречки посівної *Fagopyrum esculentum* Moench за умови різних режимів гідропраймінгу на ранніх етапах онтогенезу. Вісник ПДАА. 2022. № 2. С. 30–38. 2. Сахно Т.В., Корінний С.М., Бей Каріна Біотехнологічний підхід до праймінгу насіння. Актуальні напрямки та проблематика у технологіях вирощування продукції рослинництва: матеріали Міжнародної науковопрактичної інтернет-конференції (23 листопада 2023 року, м. Полтава): ПДАУ, 2023. 184 с. 96-99.3. Бей Каріна. Корінний С.М. Сахно Т.В. Біопраймування: ефективний біотехнологічний підхід до передпосівної обробки насіння. Матеріали I Міжнародної наукової

конференції, м. Одеса, 22 грудня, 2023 р.— 512 с. Секція Х. Хімія, хімічна та біоінженерія. С.237-239.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Розділ 1. Огляд літератури.

Розділ 2. Методи. Вимірювальний, візуальний, кількісний, лабораторний, математично-статистичний.

Розділ 3. Дослідити особливості проростання та формування посівних властивостей насіння сої сорту Абеліна. Встановити особливості поліпшення посівних якостей насіння, зокрема енергії проростання, схожості та сили росту шляхом праймінгу насіння сої бактеріальним препаратом Nitrofix «Noctin A + Pro Noc Multi» на основі живих клітин *Bradyrhizobium japonicum* та біологічний регулятор росту «Гумат калію».

5. Перелік графічного матеріалу: рисунки – 23, таблиці – 2, за темою дослідження.

6. Дата видачі завдання «11» вересня 2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1. Вибір і затвердження теми роботи	04.09-11.09.23	<b>виконано</b>
2. Складання та погодження розгорнутого плану та завдання на кваліфікаційну роботу	11.09-18.09.23	<b>виконано</b>
3. Опрацювання літературних джерел	18.09-20.10.23	<b>виконано</b>
4. Збір, вивчення і обробка інформації, необхідної для виконання роботи	23.10-20.11.23	<b>виконано</b>

5. Виконання теоретичного розділу роботи	20.11.23-12.01.24	<b>виконано</b>
6. Виконання аналітичних розділів роботи	15.01-29.03.24	<b>виконано</b>
7. Виконання спеціальних розділів	01.04-30.04.24	<b>виконано</b>
8. Оформлення тексту роботи	01.05-31.05.24	<b>виконано</b>
9. Попередній захист роботи на кафедрі	10.06.24	<b>виконано</b>
10. Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень і пропозицій	10.06-20.06.24	<b>виконано</b>
11. Нормоконтроль	20.06.24	<b>виконано</b>
12. Захист кваліфікаційної роботи	21.06.24	<b>виконано</b>

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_

Бей К.С.

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

Сахно Т.В.

## АНОТАЦІЯ

Бей К. С. «Біотехнологічний підхід до праймінгу насіння сої (*Glycine max*)». – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 162 Біотехнології та біоінженерія. Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, 2024 р.

У кваліфікаційній роботі викладені результати досліджень аналізу ефективності різних видів праймінгу та біотехнологічних підходів на покращення росту і розвитку на ранніх етапах вегетації насіння сої.

Дослідження показали, що такі методи як: гідропраймінг, галопраймінг, біопраймінг та інші розглянуті методи, сприяють оптимізації агротехнічних процесів у вирощуванні сої та інших культур, а також забезпечують стійкий розвиток сільського господарства. В ході експериментів було встановлено перевагу та ефективність застосування методу біопраймінгу. Використання інокулянтів на основі *Bradyrhizobium japonicum* дозволяє аграріям зменшити кількість необхідних азотних добрив, що економічно вигідно та екологічно безпечно.

Кваліфікаційна робота: 59 с., 23 рис., 2 табл, 114 посилань.

Ключові слова: праймінг, соя, біотехнологічний підхід, екологічно безпечно, енергія проростання, схожість, біопрепарат.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень .....	8
ВСТУП .....	9
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ .....	12
1.1. Загальна характеристика праймінгу .....	12
1.2. Біопраймінг .....	15
1.3. Праймінг сої .....	20
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	28
2.1. Рослинні білкові ресурси та народногосподарське значення сої ( <i>Glycine max</i> ) .....	28
2.2. Бактерії <i>Bradyrhizobium japonicum</i> в біопраймінгу .....	31
2.3. Методика проведення досліджень .....	33
2.3.1. Об'єкт дослідження (соя) .....	33
2.3.2. Підготовка насіння .....	33
2.3.3. Гідропраймінг .....	34
2.3.4. Галопраймінг .....	35
2.3.5. Біопраймінг .....	36
2.3.6. Гормонопраймінг .....	37
2.3.7. Енергія проростання та схожість сої .....	39
2.3.8. Електропровідність .....	39
2.3.9. Визначення хлорофілу a, b та каротиноїдів .....	41
2.4. Обладнання для праймінгу на виробництві .....	42
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	49

3.1. Аналіз впливу різних праймерів на енергію проростання та схожість рослин.....	49
3.2.Оцінка електропровідності сої .....	53
3.3. Дослідження біохімічного складу сої під впливом праймінгу: вміст хлорофілу та каротиноїдів.....	56
3.4. Аналіз біометричних показників сої.....	58
3.5. Статистична обробка даних .....	63
3.6. Охорона праці.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67
ДОДАТКИ.....	80

## Перелік умовних позначень

ДНК - дезоксирибонуклеїнова кислота;

РНК - рибонуклеїнова кислота;

АТФ – аденозинтрифосфат;

pH - потенціал водню;

ISTA - International Seed Testing Association.

## ВСТУП

Сьогодні сільське господарство стикається з рядом викликів, пов'язаних із забезпеченням стійкості врожаю та підвищенням ефективності вирощування культурних рослин. Одним із способів досягнення цих цілей є застосування біотехнологічних методів, серед яких важливе місце займає праймінг насіння. Праймінг насіння, або передпосівна обробка, є ключовим етапом у підготовці насіння до вирощування та має значний вплив на його подальший розвиток та врожайність. З огляду на постійний розвиток сільськогосподарської науки та технологій, виникає необхідність у пошуку нових, ефективних підходів до праймінгу насіння.

**Актуальність теми.** Праймінг - це метод покращення якості насіння за допомогою короткочасної активації первинного метаболізму. Цей процес включає активацію антиоксидантних функцій та відновлення ДНК. Використання праймінгу насіння виявляється ефективним способом для підвищення енергії проростання, синхронізації проростання, а також підвищення кількості сходів і укорінення в умовах, несприятливих для росту. Відомо, що збільшення показників врожайності сільськогосподарських культур є великим питанням для аграріїв в усьому світі.

Однією з найбільших проблем для людства є стійкість сільського господарства, що означає мінімізацію спричинених стресом втрат врожаю, щоб підтримувати темпи продуктивності сільського господарства для зростаючого населення світу, але не залишаючи жодних негативних наслідків для навколишнього середовища в цілому. Таким чином, більшість сучасних методів використовують процес попередньої обробки насіння, який є екологічно стійким, економічно ефективним і потребує менше землі для отримання більшої кількості зерна. Незважаючи на те, що інтерес до праймінгу насіння був продемонстрований протягом тривалого часу, основні

фізіологічні та біохімічні основи цього захоплюючого процесу залишаються погано вивченими.

**Мета та завдання дослідження.** Метою досліджень був аналіз ефективності різних видів праймінгу та біотехнологічних підходів на покращення росту і розвитку на ранніх етапах вегетації насіння сої. Для досягнення мети ставилися завдання: -провести вибір біологічних агентів для вибраних методів праймінгу;

-визначити вплив гідропраймінгу на такі показники, як: енергія проростання та схожість, електропровідність, склад фотосинтетичного апарату та біометричні показники рослин;

- визначити вплив галопраймінгу на такі показники, як: енергія проростання та схожість, електропровідність, склад фотосинтетичного апарату та біометричні показники рослин;

- визначити вплив біопраймінгу на такі показники, як: енергія проростання та схожість, електропровідність, склад фотосинтетичного апарату та біометричні показники рослин;

-визначити вплив гормонопраймінгу на такі показники, як: енергія проростання та схожість, електропровідність та біометричні показники рослин;

**Об'єктом дослідження.** Насіння сої (*Glycine max*).

**Предмет дослідження.** Обробка біотехнологічними методами праймінгу насіння сої.

**Методи досліджень.** Фізіологічні дослідження (визначення енергії проростання та схожості), лабораторні дослідження (тест на електропровідність, визначення хлорофілу a, b та каротиноїдів), структурний аналіз рослин(вимірювання біометричних показників), статистичні методи обробітку даних.

**Наукова новизна результатів роботи.** Експерименти над сортом сої «Абеліна» раніше не виконувалися. Дослідження є новими.

**Практичне значення одержаних результатів.** Полягає в тому, що матеріали, представлені у роботі, можуть мати важливе практичне значення для покращення умов вирощування культури сої та оптимізації сільськогосподарського виробництва, а також сприятимуть накопиченню нових знань в галузі розробки нових методів передпосівної обробки культурних рослин.

**Особистий внесок здобувача.** Робота виконувалася особисто студентом.

**Апробація.** Висвітлення наукової діяльності: тези за темою були написані та захищені під час міжнародних наукових конференцій (додаток А).

1. Бей К.С., Корінний С.М., Сахно Т.В. Біотехнологічний підхід до праймінгу насіння. *Актуальні напрямки та проблематика у технологіях вирощування продукції рослинництва*: матеріали Міжнар. наук.- практ. конф. м.Полтава. 23 листопада. 2023 р. м.Полтава. 2023 р. (с.96-98);

2. Бей К.С., Корінний С.М., Сахно Т.В. Біопраймування: ефективний біотехнологічний підхід до передпосівної обробки насіння. *Інноваційна наука: пошук відповідей на виклики сучасності*: матеріали I Міжнар. наукової конф., м.Одеса. 22 грудня, 2023 р., м. Вінниця. 2023 р.(с.237-239);

3. Бей К.С., Сахно Т.В. Праймінг насіння сої – біотехнологічний метод. *Хімія, біотехнологія, екологія та освіта*: збірник матеріалів VIII Міжнар. наук.- практ. конф. м.Полтава. 15-16 травня. 2024 р. м.Полтава.2024 р. (с.90-94).

**Структура і обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота виконана на 59 сторінках і складається з вступу, 4 розділів та висновків. Список використаної літератури налічує 114 найменувань.

## РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

### 1.1. Загальна характеристика праймінгу

Праймінг насіння – це передовий біотехнологічний підхід, який знаходить широке застосування в сільському господарстві та виробництві [1]. Він охоплює як фундаментальні аспекти молекулярних механізмів, так і практичні застосування для поліпшення виробництва сільськогосподарських культур та підвищення стійкості рослин до несприятливих умов. Ці питання досліджуються та вирішуються в таких визнаних наукових центрах як Біотехнологічний інститут (Угорщина), ICAR-інститут сільськогосподарських досліджень (Індія), Університет Циндао (Китай), Університет сільського господарства та лісівництва, (Непал), Дослідницький центр біотехнології та нанотехнологій, Інститут сільськогосподарських досліджень і розвитку Малайзії (Малайзія), Департамент сільськогосподарських наук, біотехнології та харчових наук при Кіпрському технологічному університеті (Кіпр), Відділ досліджень біотехнології в Майсурському університеті (Індія), Шарлоттаунський науково-дослідний центр, сільське господарство та сільськогосподарська продовольство Канади (Канада), Департамент хімії та біотехнології при Талліннському технологічному університеті (Естонія). Важливі досягнення та дослідження в галузі праймінгу насіння також широко представлені в відомих біотехнологічних журналах, таких як *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *Nature Biotechnology*, *Current Opinion in Biotechnology*, *3 Biotech*, *Plant Biotechnol. J.*, *Biotechnol Rep*, *Biotechnology Advances*, *Trends in Biotechnology*, *Biotechnology and Bioengineering*. Так, журнал *Plant physiology and biotechnology* за останні роки має 1404 цитування по праймінгу насіння [2].

Термін "праймування насіння" був вперше введений у роботі [3], де автори представили нову технологію для активізації росту та стимулювання життєвих процесів рослин шляхом однакового проростання насіння. Зазвичай,

під час праймування насіння занурюють у обмежену кількість води, розчини неорганічних речовин або засоби захисту від осмотичного стресу на певний період часу, що призводить до значних змін у фізіологічному або метаболічному профілі проростків, а також до підвищення їхньої стійкості до стресових умов [4]. Під час праймування насіння, зазначені процеси викликають активацію різноманітних генетичних та метаболічних механізмів у проростках. Наприклад, зміни в фізіологічному профілі можуть включати активізацію синтезу специфічних ферментів, які сприяють обробці ресурсів та енергії для забезпечення оптимального росту та розвитку рослин. Крім того, праймування впливає на експресію генів, пов'язаних з відповіддю на стрес, що дозволяє рослинам краще адаптуватися до несприятливих умов навколишнього середовища [5].

Передпосівну обробку насіння, відому як праймування, розглядають як ефективний біотехнологічний метод, який сприяє підвищенню життєздатності та стійкості самого насіння, а також подальшому зміцненню проростків та дорослих рослин. Важливою передумовою отримання стабільного врожаю є висока якість посівного матеріалу та його відповідність стандартам Міжнародної асоціації тестування насіння [6].

Методи праймування включають гідропраймінг [7], осмопраймінг [8], галопраймінг [9], праймінг твердої матриці [10], біопраймінг [11], хіміопраймінг [12] і термопраймінг [13], гормонопраймінг [14], нанопраймінг [15] та фізичні методи (магнітне [16], УФ-випромінювання,  $\gamma$  – випромінювання, холодна плазма, електронний та лазерний праймінг). Сучасні методи передпосівної обробки насіння можуть комбінувати кілька різновидів праймінгу, що призводить до появи гібридних форм [17], або складових різного характеру, як у випадку твердомаатриксного праймінгу, де застосовується змішування твердого носія та рідини.

Раніше нами використовувалась технологія гідропраймінгу для гречки [18] та УФ-С праймінгу картоплі [19], моркви [20], пшениці [21], ріпаку [22], віки [23]. Фенотипові та фізіологічні ефекти були ретельно кількісно

визначені, але молекулярні механізми, що лежать в їх основі, залишаються областю триваючих досліджень.

Різноманітні методи, які використовують воду, можна об'єднати під загальним терміном "хіміопраймування", оскільки вони передбачають використання різних хімічних речовин - як природних, так і синтетичних, органічних або неорганічних - для процесу праймінгу. Варто відзначити окремий підхід до праймування насіння за допомогою екстрактів з рослин та інших живих організмів, таких як водорості чи хітинові покриви членистоногих. У таких випадках часто складно визначити всі складові розчину та їхню роль у процесі [24].

Часто передпосівну обробку насіння проводять, занурюючи його у воду або розчини органічних та неорганічних речовин. Досліджено, що мікроелементи [25], фітогормони [26], саліцилова кислота [27], піролінова кислота [28], мелатонін [29], низькі концентрації етилового спирту та інші речовини можуть активувати різноманітні морфофізіологічні, біохімічні та молекулярні процеси у рослин.

Праймування насіння відбувається в три етапи. Етап I включає репарацію мітохондріальної ДНК і синтез білка за допомогою існуючої РНК, при якій насіння поглинає велику кількість води. Мітохондрії та білки синтезуються під час стадії II, коли запаси, такі як білки, жири та ліпіди, перетворюються на сполуки, необхідні для проростання, а насіння поглинає невелику кількість води. Етап III передбачає завершення процесу проростання та зростання розсади, що супроводжується раптовим збільшенням водопоглинання [30].

Досліджують кілька механізмів, які можуть сприяти поліпшенню росту рослин під час проведення праймінгу. Серед них можна відзначити зниження рівня активних форм кисню, зміцнення клітинних мембран, активізацію антиоксидантної системи та процесів синтезу білків, вуглеводів, ліпідів, ензимів, вітамінів, осмолітів, підвищення експресії генів, залучення імунної

пам'яті, активацію регуляторних механізмів, підвищення фотосинтезу і провідності stomat [31].

Варто зауважити, що успішність проведення праймінгу насіння значною мірою залежить від різноманітних чинників, таких як температура, сорт рослини, ступінь дозрівання насіння, концентрація розчину та тривалість обробки [32].

Дослідники стверджують, що застосування праймінгу насіння забезпечує швидше та більш однорідне проростання та покращує ріст рослини шляхом контрольованого поглинання води, активації руйнування крохмалю та дії ферментів, синтезу АТФ та систем антиоксидантного захисту, таким чином, спричиняючи підвищення стресостійкості до негативних умов навколишнього середовища [33].

## **1.2. Біопраймінг**

Біопраймінг – це біотехнологічний процес активації насіння за допомогою спеціальних біологічно активних речовин в яких містяться корисні мікроорганізми, які сприяють покращенню його фізіологічного стану перед посівом насіння. Цей метод передбачає використання біологічних речовин, таких як екстракти рослин, біологічно активні сполуки та мікроорганізми, щоб стимулювати ріст і розвиток рослин з моменту висіву насіння. Біопраймінг сприяє підвищенню життєздатності насіння, полегшує його проростання, збільшує врожайність та покращує стійкість рослин до стресових умов [34]. Він об'єднує в собі біологічний компонент (мікроорганізми) та фізіологічне замочування (гідратацію насіння). У 1990 році Каллан та його колеги вперше описали біологічну обробку насіння солодкої кукурудзи перед сходами. Поглиблене всмоктування за участю біоконтрольного медіатора при певній температурі сприяє збільшенню поживних речовин. Результати експерименту показали, що оптимізований процес біологічного праймінгу насіння солодкої кукурудзи призвів до значного збільшення врожайності та покращення якості отриманого продукту. Головним призначенням біопраймування насіння є застосування його в бобових культурах, які можуть взаємодіяти з

азотфіксуючими бактеріями. Цей процес включає замочування насіння у воді, де присутні мікроорганізми, такі як бактерії та гриби, а також продукти їхньої життєдіяльності [35]. Азотфіксуючі мікроорганізми, що вільно живуть (*Clostridium*, *Azotobacter*, *Beijerinckia* та ін.) або розвиваються в симбіозі з культурними рослинами (*Rhizobium*, *Bradyrhizobium* та ін.) є для них додатковим джерелом азоту. Крім того, замочування насіння разом із корисними мікроорганізмами сприяє формуванню культурних рослин, особливо якщо інокульовані мікроорганізми колонізують ризосферу та сприяють росту рослини. Оскільки використання як бактерій, так і грибів, є біологічним підходом, конкуренти можуть ефективно боротися з патогенами в ґрунті та насінні [36].

Солюбілізуючі бактерії (*Pseudomonas* spp., *Agrobacterium* spp., *Bacillus* spp. та ін.) вивільняють та мобілізують поживні речовини, сприяючи підвищенню у ґрунті доступних форм фосфору та калію [37]. Біопраймування сприяє накопиченню в кореневій зоні антагоністів (*Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus subtilis*, *Trichoderma harzianum*) шкідливих мікроорганізмів, що пригнічують розвиток хвороб та шкідників, та сприяє оздоровленню ґрунту.

Праймінг різноманітними групами корисних мікроорганізмів не лише поліпшує якість насіння, але й підвищує стійкість розсади до біотичних та абіотичних стресів та сприяє утворенню більш стійкої рослинної імунності. Мікроорганізми, які основною метою мають біозахист насіння, включають *Pseudomonas* spp., *Enterobacter* spp., *Trichoderma* spp. і *Bacillus* spp. [38]. *Pseudomonas* spp. відомі своєю здатністю до антагонізму щодо патогенних мікроорганізмів, таких як грибки та бактерії, що спричиняють хвороби. Вони можуть продукувати антагоністичні сполуки, такі як антибіотики та гормони, які допомагають у боротьбі з хвороботворцями. *Enterobacter* spp. також відомі своєю здатністю до біозахисту та можуть бути корисними для рослин у захисті від патогенів. Вони можуть виробляти фітозахисні сполуки, що зменшують ризик зараження рослин хворобами. *Trichoderma* spp. є важливими

антагоністами грибкових хвороб, таких як фузаріоз та ризоктоніоз. Вони можуть колонізувати коріння рослин та виробляти фітозахисні фактори, які підвищують стійкість рослин до стресу та захищають їх від захворювань. *Bacillus spp.* відомі своєю здатністю до продукування широкого спектру антагоністичних сполук, таких як антибіотики, ензими та антимікробні пептиди. Вони можуть захищати рослини від патогенів та підвищувати їх стійкість до стресу.

Корисні мікроорганізми, які використовуються в біопраймінгу, можуть утворювати взаємовигідні стосунки з рослиною під час її розвитку, тим самим посилюючи ріст рослини та придатність [39]. Біопраймінг захищає рослину від патогенів, від початкової до пізньої стадії росту рослини, шляхом індукції та ініціації системної стійкості та інших шляхів захисту. Численні приклади біопраймування різними біологічними агентами продемонстрували позитивний вплив проти різноманітних груп патогенів, таких як *Fusarium*, *Verticillium*, *Colletotrichum*, *Rhizoctonia* та *Sclerotium* [40].

Дослідження демонструють ефективність використання біотехнології праймування. Згідно з проектом "Розробка біотехнології праймування пшениці", який ґрунтується на використанні сигнальних молекул бактерій класу ацилогомосеринолактонів, для підвищення стійкості та урожайності, встановлено оптимальні концентрації С6-ГГЛ. Були розроблені протоколи для обробки зернівок і листків рослин пшениці. Після обробки зернівок розчином С6-ГГЛ зафіксовано збільшення вмісту хлорофілів у листках. Після фоліарної обробки рослин на початковій стадії росту також спостерігалось підвищення хлорофільного індексу [41].

Також виявлено, що застосування зовнішніх абсцизових кислот (АБК) для праймінгу зернівок пшениці *Triticum aestivum* та *T. spelta* підвищує стійкість рослин до високих температур та помірної вологості ґрунту. Під час відновлення цей процес контролюється змінами у розподілі та балансі внутрішніх абсцизових кислот (АБК) та інших органічних сполук (ІОК). Були виявлені зміни в структурі та функціях фотосинтетичного апарату, а також у

механізмах накопичення низькомолекулярних захисних сполук та контролю активності ліпоксигенази під впливом температурного стресу у озимій пшениці [42].

Переваги праймування в основному пов'язані з індукцією біохімічних, молекулярних і клітинних подій, які сприяють механізмам відновлення клітин, які опосередковуються синтезом нуклеїнових кислот і білків. Праймінг активує ферменти, що беруть участь у мобілізації резервних речовин, таких як  $\alpha$ - і  $\beta$ -амілази для вуглеводів і ізоцитратліази для розщеплення ліпідів [43]. Біопраймування насіння забезпечує ранній синтез білка та ДНК, а також сприяє ефективному розвитку мітохондрій.

Для насіння овочевих культур вдалим методом біопраймінгу стали штами *Trichoderma harzianum*, а потім *Trichoderma pseudokoningii*, *Bacillus spp.*, *Gliocladium spp.* і *Pseudomonas fluorescens*. Останнім часом біологічне праймування використовується як альтернатива для боротьби з декількома патогенами, які передаються через ґрунт і насіння. Наприклад, взаємодія як *Trichoderma harzianum*, так і *Pseudomonas fluorescens* при нанесенні на насіння перцю як біозатверджувального агента призводить до значного зростання розсади. Різноманітні ризобактеріальні інокулянти використовуються як примусові для контролю патогенних грибкових штамів та підвищення врожайності. Більшість ризосферних бактерій прискорюють ріст і фізіологію рослин, тому їх називають ризобактеріями, що стимулюють ріст рослин (PGPR-Plant Growth-Promoting Rhizobacteria) [44].

Мікробна інокуляція ціанобактеріями практикується як засіб підвищення врожайності та родючості ґрунту, серед яких значну роль відіграють ціанобактеріальні інокулянти. Вони є основними виробниками, залученими до кругообігу C–N, не лише на затоплених полях, але також відіграють корисну роль у вирощуванні інших зернових, бобових, овочів і квіткових культур [45].

Ризобактерії PGPR є різноманітним асортиментом бактерій, які перебувають в ризосфері, на поверхнях коренів та в безпосередній близькості

від коренів, здатні впливати на ступінь і якість розвитку рослин. Ризобактерії, що сприяють росту рослин, включають ризосферні колонізатори та N<sub>2</sub>-фіксуючі ризобактерії, які забезпечують рослини азотом, а також відомий симбіоз бобових ризобій. Кілька видів бактерій, таких як *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Alcaligenes*, *Arthobacter*, *Burkholderia*, *Bacillus* і *Serratia*, за останнє десятиліття довели свою здатність покращувати розвиток рослин. Найважливіший серед них є *Rhizobium*, який встановлює симбіотичну асоціацію зі специфічною рослиною господарем, підвищуючи її ріст і врожайність за рахунок біологічної фіксації атмосферного азоту [46]. Інші PGPR, такі як *Pseudomonas* і *Bacillus*, також можуть стимулювати ріст рослин і збільшення врожаю, колонізуючи корені рослини господаря несимбіотичним способом.

Прямий вплив PGPR передбачає надання рослині речовини, яка стимулює її ріст, або надання рослині речовини, що сприяє її розвитку. Коли PGPR пригнічує шкідливу дію фітопатогенних мікроорганізмів, це опосередковано сприяє росту рослин. Внаслідок інокуляції PGPR відзначено значне збільшення росту та врожайності сільськогосподарських культур. Бактеріальні інокулянти сприяють прискоренню росту та проростанню рослин, покращують процеси висіву, підвищують стійкість до стресів і захищають рослини від хвороб. Велика кількість PGPR стимулює ріст рослин, виробляючи рослинні гормони та збільшуючи доступність поживних речовин у ґрунті [47].

Таким чином, обробка насіння корисними мікроорганізмами, такими як гриби та бактерії (*Trichoderma*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobia* тощо), допомагає зменшити біотичні, абіотичні та фізіологічні стреси для насіння та розсади. Біотехнологічна обробка насіння слугує альтернативою хімічному контролю шкідників і хвороб, а також сприяє прискоренню росту рослин [48]. Біопраймування насіння дозволяє бактеріям проникати та прилипати до насіння, а також адаптуватися до переважаючих умов. PGPR представляє собою корисний асортимент бактерій, які колонізують корені, виробляючи

сполуки, схожі на індол-3-оцтову кислоту (IAA), тим самим сприяючи росту рослин за рахунок збільшення проростання насіння, росту рослин і врожайності [49].

Біопраймування насіння сприяє цілеспрямованому введенню мікробів для підвищення ефективності та здоров'я рослин [50]. Отже, біопраймоване насіння вимагає менше хімічних речовин, таких як добрива та пестициди, тим самим зменшуючи забруднення навколишнього середовища та сприяючи збереженню корисних ґрунтових мікробів. Інокуюючи насіння корисними мікробами за допомогою біопраймінгу, землевпорядники можуть модулювати мікробіом рослин за допомогою азотфіксуючих або пригнічуючих захворювання мікробних партнерів і таким чином впливати на мікробні популяції рослин і ґрунтів [51]. Біопраймінг також сприяє зменшенню впливу біотичних, абіотичних та фізіологічних стресів на насіння та розсаду. Біотехнологічна обробка насіння виступає як альтернатива хімічному захисту від шкідників і хвороб, а також сприяє прискоренню росту рослин. PGPR є корисними бактеріями, які заселяють корені рослин і виробляють речовини, подібні до індол-3-оцтової кислоти, що сприяє збільшенню врожайності шляхом підвищення проростання насіння та росту рослин. Використання біопраймування зменшує негативні наслідки дефіциту води та має позитивний вплив на показники схожості насіння. Для майбутніх досліджень корисним і цікавим є той факт, що ефект праймування здатний передаватися наступним поколінням на генетичному рівні. Праймінг між поколіннями спостерігали в потомстві рослин, які зазнали впливу *P. Syringae* [52].

### **1.3. Праймінг сої**

У бобових культурах, таких як соя, боби, чорний горох та інші, праймінг покращує загальний врожай через збільшення числа сходів, їхню рівномірність та стійкість до стресових умов. Крім того, праймінг ефективний для покращення адаптації бобових рослин до негативного впливу шкідників, хвороб та несприятливих факторів середовища, таких як посуха або холод.

Дослідження показали, що можна впливати на ріст і розвиток бобових рослин шляхом застосування певних агрономічних стратегій, що дозволяють максимально використовувати наявні ресурси в умовах засолення. Зокрема, ефективним методом зменшення негативного впливу сольового стресу на ці рослини є використання ризобактерій, які стимулюють їхній ріст. Ці бактерії допомагають покращити стан рослин за умов солоних ґрунтів, забезпечуючи стабільність рівня осмотичного тиску, покращення процесів фотосинтезу, нодуляції та росту коренів, що сприяє кращому забезпеченню рослин водою та поживними речовинами. Також було виявлено позитивний вплив праймінгу насіння з використанням певних речовин на ріст і розвиток бобових під впливом сольового стресу [53]. Серед таких речовин варто зазначити бетаїнгідрохлорид, солі цинку, саліцилову кислоту, гібереліни, поліаміни та інші, які підвищують стійкість рослин до сольового стресу та їхню урожайність за рахунок різних механізмів, зокрема активізацію антиоксидантної системи, регулювання росту і розвитку, розподілу іонів у стеблах і коренях та інше.

Дослідники відзначають, що праймінг насіння забезпечує швидке та однорідне проростання, а також покращує розвиток рослин шляхом контрольованого поглинання води, активації розщеплення крохмалю та дії ферментів, синтезу АТФ і антиоксидантного захисту. Це збільшує стійкість до негативних екологічних умов [54]. Процес ґрунтування насіння сприяє покращенню ефективності аквапоринів, що забезпечує стимулювання транспорту води через клітинну мембрану. Праймування насіння сприяє швидшому поглинанню води та прискоренню процесу проростання, працюючи на розпушування клітинної стінки. Цей фізіологічний процес забезпечує життєві переваги, особливо в умовах посухи, де насіння має високий осмотичний опір для поглинання води [55]. Це досягається шляхом полегшення поглинання поживних речовин, забезпечення та стимулювання гормонального синтезу рослин, а також підвищення стійкості як до біотичних стресів, таких як шкідники та хвороби, так і до абіотичних стресів, таких як

посуха та сіль. Наприклад, асоційовані з рослинами мікоризні гриби та азотфіксуючі бактерії можуть посилити поглинання рослинами поживних речовин фосфору та азоту [56]. Соя здатна фіксувати атмосферний азот у партнерстві з різними видами бактерій роду *Bradyrhizobium*, такими як *B. japonicum*, *B. elkanii*, *B. liaoningense* і *B. Yuanmingense* [57]. Використання ефективних брадиризобій при підвищених рівнях солі у середовищі вирощування сприяє стимулюванню формування корневих вузлів та зростанню проростків. Це призводить до збільшення вмісту хлорофілів та каротиноїдів, підсилює фотосинтетичні процеси та сприяє підвищенню концентрації ізофлавононів у коренях та інших частинах рослини [58]. Все більше досліджень вказують на користь комбінованого застосування різних мікроорганізмів для підвищення стійкості сої до засолення [59]. Наприклад, виявлено, що одночасне праймування насіння сої ростовими бактеріями *Pseudomonas* і бактеріями роду *Rhizobium* призводить до збільшення кількості корневих вузлів у порівнянні з традиційним праймінгом лише ризобіями. Крім того, виявлено, що вирощування штамів *Pseudomonas* сприяє розвитку кореневої системи, що позитивно впливає на живлення рослин і формування ефективних корневих вузлів. Досліджено, що при засоленні використання арбускулярних мікоризних грибів призводить до поліпшення структури кореневої системи сої, сприяє процесам формування бульбочок і живлення, збільшує вміст хлорофілу та ауксину, в той же час зменшує утворення пероксиду водню та знижує пошкодження мембран під час стресу [60].

Технологія праймування дозволяє одночасно використовувати кілька речовин для досягнення комплексного ефекту. Наприклад, комбінування біопраймування бобових культур азотфіксуючими мікроорганізмами з використанням біологічно активних речовин або мікроелементів призвело до збільшення кількості корневих вузликів і фіксації азоту, а також збільшення вмісту хлорофілу у листках і загальної продуктивності рослин [61].

При правильній інокуляції, біологічна азотфіксація у сої сприяє забезпеченню всіх потреб культури в азотних добривах. Дослідники

стверджують, що інокуляція призводить до збільшення врожайності зерна на 12% і підвищення концентрації білка на 40–60%, що впливає на підвищення ціни на сою [62].

Використання передпосівної бактеризації сприяє поліпшенню азотного живлення рослин шляхом додаткового використання «біологічного» азоту. Для багатьох сортів рослин були вибрані ефективні штами бактерій *Bradyrhizobium japonicum*, з яких виготовляють мікробні препарати. Обробка рослин препаратом "Епін-екстра" разом з інокуляцією ризоторфіном призвела до підвищення активності азотфіксації у бульбах рослин сої, а також збільшення вмісту різних речовин, таких як індолілоцтова кислота у коренях з бульбами, цитокініни та абсцизова кислота у листках та стеблах, а також гіберелінова кислота у листках, стеблах та коренях з бульбами [63]. Ще одним ключовим біогенним елементом у метаболізмі рослин сої є фосфор. Один з методів підвищення доступності цього елемента для рослин - використання біопрепаратів, що базуються на грибах арбускулярної мікоризи [64]. Арбускулярна мікориза (АМ) забезпечує покращення здатності рослини до поглинання біогенних елементів з ґрунту, навіть у умовах, які несприятливі для її росту, таких як водний та сольовий стрес. Розвиток цієї мікоризи дозволяє збільшити поглинання коренями рослин до 700 разів за рахунок розширення екстрарадикального міцелію. Така взаємодія дозволяє рослинам більш ефективно конкурувати з ґрунтовими мікроорганізмами за обмежені ресурси фосфату. Значна поширеність АМ у природних екосистемах та ґрунтах сільськогосподарських угідь підкреслює її важливість з екологічної та економічної точок зору.

Дослідженнями Soedarsono та ін. [65] доведено, що бактерії стимулюють ріст рослин (PGPB) сої від чого підвищується врожайність насіння. Khan et al. [66] виявили, що штами *Bacillus*, що продукують IAA, покращують біомасу та стресостійкість рослин сої, одночасно модулюючи рівні абсцизової кислоти (ABA) та саліцилової кислоти (SA).

Праймування корисне для сприяння росту культур за різних умов середовища. Повільна поява сходів і ріст сходів підвищують ризик появи шкідників і сповільнюють продуктивність культури, що негативно впливає на врожайність насіння. Дослідження показують, що праймінг насіння різними речовинами покращує продуктивність бобів в умовах стресу [67].

У мета-аналізі досліджень з 1987 по 2018 рік Zeffa et al. [68] резюмували, що спільна інокуляція сої *Bradyrhizobium* і PGPR (*Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Serratia*) покращує розвиток рослин, збільшує утворення бульбочок і полегшує обмеження в харчуванні та потенційні стреси під час росту рослин.

Miladinov та його колеги з відділу сої в Інституті польових і овочевих культур стверджували, що гормональне та гало-праймування з використанням  $KNO_3$  (1%),  $KCl$  (1%) і аскорбінової кислоти (100 мг/л) сприяло зменшенню солоності стресу в соєвих бобах шляхом зниження вільної концентрації прооксидантів, інтенсивності ліпідного окиснення та концентрації іонів  $Na^+$ , а також збільшенню поглинання іонів  $K^+$ . Більше того, праймування аскорбіновою кислотою призвело до збільшення концентрації вітаміну С [69].

Соя переробляється на широкий спектр продуктів. Основні переробні продукти сої включають:

1. Соевий шрот: отримується шляхом видалення соєвої олії з соєвих бобів. Використовується як білковий корм для тварин у складі комбікормів.

2. Соева олія: Олія виготовляється з соєвих бобів шляхом екстрагування. Використовується як кулінарна олія, в промисловості для виробництва харчових продуктів, а також для виробництва біодизелю.

3. Соеві боби: Свіжі соєві боби можуть використовуватися в кулінарії для приготування різних страв.

4. Соевий соус і соуси на основі сої: Виробляються з соєвої олії та соєвого білка, використовуються як прянощі та приправи.

5.Соя в різних формах: Наприклад, соєве молоко, тофу (соєвий сир), соєві ковбаски та інші соєві продукти, які можуть бути використані як альтернатива продуктам тваринного походження для вегетаріанців і веганів.

Існує кілька методів для видобутку олії: механічний, що ґрунтується на пресуванні подрібненої сировини. На рис.1.1. відображена схема, яка дозволяє послідовно проводити відділення соєвого лушпиння, екструдувати ядро сої, віджимати олію з повножирової сої, охолоджувати соєву макуху олійністю 7-8%. Для цього використовують обладнання, наприклад, виготовлене українською компанією «Bronto» (Рис.1.2).

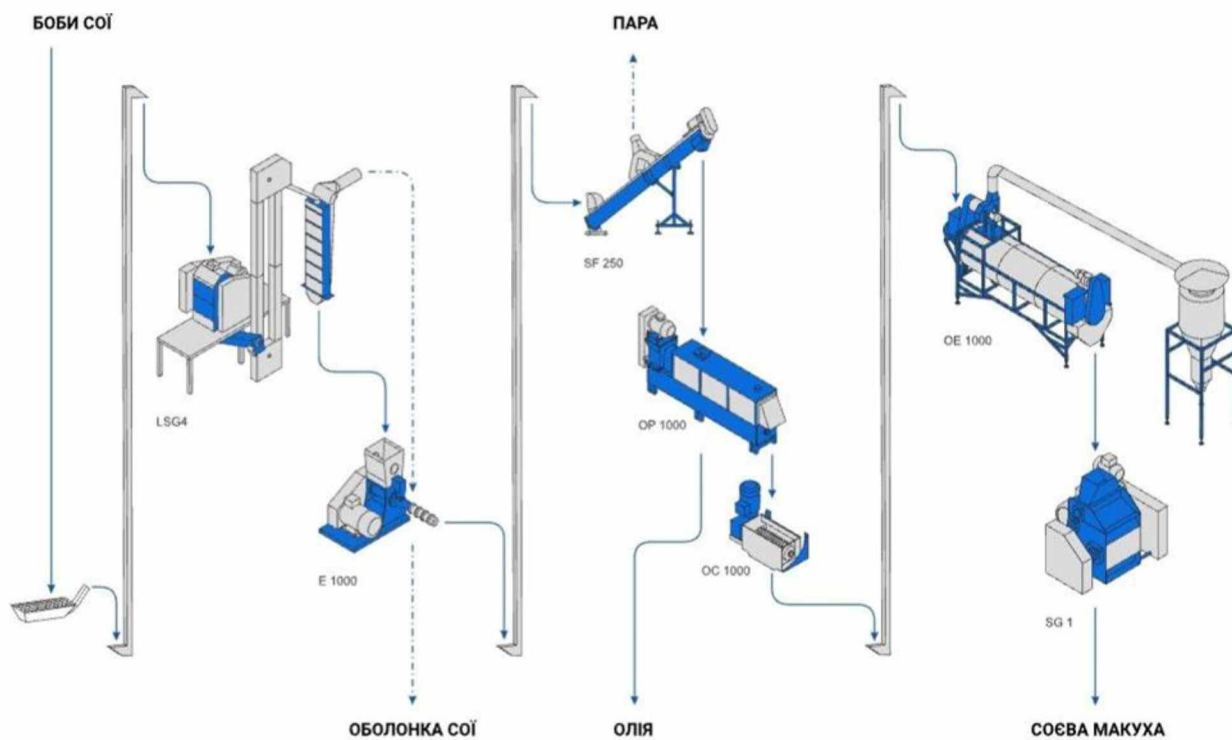
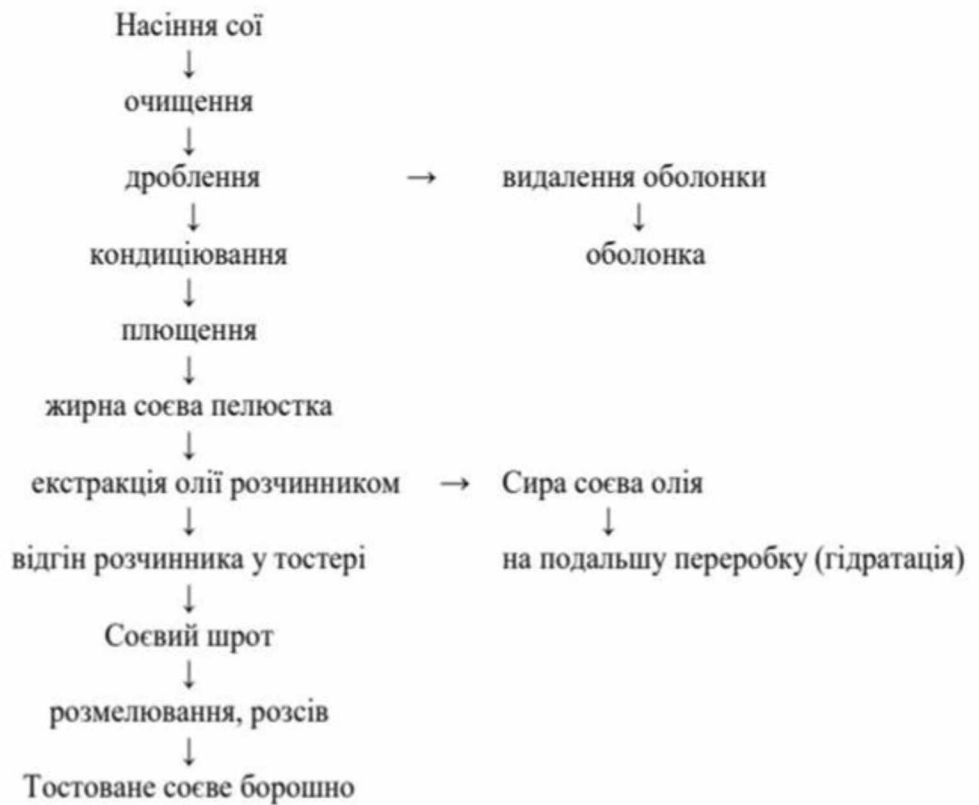


Рис.1.1 Схема лінії переробки сої механічним шляхом



*Рис.1.2 Обладнання для переробки сої: 1) луцилка сої LSG-4; 2) екструдер E-1000; 3) живильник SF-250; 4) олійний прес OP-1000; 5) макухоломач ОС-1000; 6) охолоджувач OE-1000; 7) дробарка вальцова SG-1.*

Хімічний (екстракційний) метод базується на тому, що спеціально підготовлену сировину обробляють органічними розчинниками; та комбінований метод пресування і екстрагування. На рис. 1.3. зображено процес переробки сої методом форпресування-екстракції, де для видобутку олії використовується гексан як розчинник [70].



*Рис.1.3 Схема переробки сої методом форпресування – екстракція*

Бобові культури відіграють важливу роль у відновленні ґрунтів, які постраждали від засолення, тому вивчення механізмів, які забезпечують стійкість цих рослин до сольового стресу, та пошук способів підвищення їх продуктивності в умовах несприятливого впливу мають велике значення.

Праймування насіння різними техніками є важливою стратегією для управління екологічним стресом у бобових культурах. Завдяки своїм властивостям, таким як стійкість, екологічна чистота, легкість в застосуванні і економічна ефективність, технології проростання стали все більш популярними, зокрема шляхом вдосконалення толерантності до стресів.

## РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1. Рослинні білкові ресурси та народногосподарське значення сої (*Glycine max*).

Соя (*Glycine max* L. Merr.) — це бобова культура, яка належить до сімейства Fabaceae і привертає все більший інтерес з боку комерційних видів як джерело білка та рослинних олій. Походить з регіонів північно-східної Азії, таких як Китай і Корея. Соя - надзвичайна рослина, яка відзначається своєю унікальністю та виразністю в застосуванні. За кількістю та різноманітністю корисних складових вона не має собі рівних серед усіх інших рослин, які вирощує людина. Важливо зауважити, що вона містить практично всі необхідні поживні речовини, необхідні для живого організму [71]. Зерна сої містять 35-45% повноцінного білка з оптимальним амінокислотним складом, що легко розчиняється та засвоюється організмом; 20-25% високоякісних жирних кислот з комплексу рослинних олій; 18-25% різноманітних вуглеводів; 5% мінеральних солей, корисних для лікування, а також специфічні біологічно активні інгредієнти, такі як фосфатиди, ізофлавіони, сапоніни, фітинова кислота, олеїнова кислота та інші. Такий унікальний хімічний склад робить цю культуру універсальною для використання у харчовій, кормовій, технічній та медичній сферах.

Завдяки цій культурі, агропромисловий сектор здобув стратегічне значення в економіках багатьох країн Америки, Азії та Європи. Включення вирощування сої в послідовність посівів є важливим і цінним елементом [72].

Соя є надійною та прибутковою культурою, яка відзначається у всіх зонах виробництва зерна. Вона має потенціал - внести важливий внесок у олійну промисловість, ставши ефективним доповненням до культури соняшнику, а також значним резервом для поповнення запасів високоякісного дешевого рослинного білка. Довгостроковий досвід передових господарств, що впроваджують сучасні технології вирощування сої, свідчить про

можливість отримання високої рентабельності врожаю. Проте низька врожайність в останні роки є наслідком не лише екстремальних погодних умов, але й порушень агротехнічних норм. Застосування наукових досягнень та передового досвіду сприятиме значному покращенню спільного виробництва в Україні.

Соя відіграє надзвичайно важливу роль у національній економіці, адже її цінність полягає переважно у високому вмісті білків, жирів і вуглеводів у насінні. Різноманіття хімічного складу сої дозволяє використовувати її у різних галузях харчової промисловості, а також як кормову та технічну культуру. Зацікавленість у цій білково-олійній культурі обумовлена високоякісним складом зерна, яке залежно від сорту і умов вирощування, містить 35-55% легкозасвоюваного білка, 18-28,6% жиру, до 35% вуглеводів і різноманітні вітаміни [73].

Соевий білок віднесений до резервних білків, що належать до класу глобулінів. За коефіцієнтом седиментації, соєвий глобулін поділяється на різні підтипи, такі як 2s, 7s, 11s і 15s. З цих резервних білків, 11S (гліцин) і 7s ( $\beta$ -конглізінін), разом становлять приблизно 65-80% від загального вмісту білка в насінні сої. Процес виробництва соєвого сиру (тофу) ґрунтується на властивості цих білків осідати у вигляді осаду при високій концентрації солі. Тофу вже давно використовується у традиційній кухні, проте за останні роки він набуває все більшої популярності серед людей, які стежать за своїм здоров'ям [74].

Соеві продукти, як продукти рослинного походження, стали недорогими заміниками традиційних молочних продуктів. Також вони є ідеальною харчовою добавкою в дієтах з непереносимістю лактози [75]. Соеве молоко і тофу зберігають широку популярність як джерела їжі протягом тисяч років, і велика кількість їх побічних продуктів утворюється в процесі виробництва. Соеве молоко — це водний екстракт цільних соєвих бобів, отриманий шляхом замочування та подрібнення соєвих бобів, кип'ятіння та фільтрації суміші, де водорозчинна фракція складається з високоцінних білків і енергетичного

вмісту [76]. Кожен 1 кг сухих соєвих бобів, перероблених на соєве молоко або тофу, залишає приблизно 1,2 кг залишків соєвого сиру, окара, які часто вважаються відходами [77]. Близько 7% сої використовується безпосередньо для харчових продуктів для людей, таких як тофу, соєве молоко, едамаме і темпе. Окара містить багато корисних компонентів, таких як фітохімічні речовини, наприклад, ізофлавоїни, сирий білок з усіма незамінними амінокислотами або харчові волокна [78].

Соя є не лише важливою культурою для економіки через виробництво олії, але й володіє численними іншими корисними характеристиками. Вона слугує як економічно вигідна альтернатива м'ясу у веганській дієті і потенційний будівельний матеріал для виготовлення більш доступного м'яса, вирощеного в лабораторії [79]. Це допомагає пом'якшити кризу дефіциту м'ясного білка в сучасному світі.

Після ріпакової, соєва олія стає важливим джерелом альфа-ліноленової кислоти (n-3), відомої як омега-3 жирні кислоти, яка є доступною вегетаріанцям. Це стосується також інших рослинних олій, які продаються на ринках по всьому світу. Важливо забезпечити збалансований прийом лінолевої і ліноленової кислот з їжею, а співвідношення кислот n-6 і N-3 має становити приблизно 5:1. Клінічні дослідження підтверджують, що це співвідношення найбільш оптимально для клітинної мембрани людини. Дисбаланс у співвідношенні N-6:n-3 може стати причиною розвитку різних хронічних захворювань, таких як діабет, серцево-судинні проблеми та остеопороз [80]. Соєві білки мають антихолестеринову та антиканцерогенну дію, а також захищають від діабету, захворювань нирок і припливів у період менопаузи [81]. Лушпиння сої комерційно використовують для виробництва біоетанолу, бутанолу, ферментів (целюлаз, ксиланаз тощо), фітогормонів (гібереліну), пребіотиків тощо [82].

Бобові, а насамперед соя є додатковою частиною систем сівозміни завдяки симбіотичній фіксації азоту [83], сильній системі стрижневих коренів [84], чарівним кореневим виділенням для ґрунтових мікроорганізмів. Таким

чином, вони покращують фізіологічні, хімічні та біологічні властивості ґрунту [85] і підвищують урожайність сільськогосподарських культур [86].

## **2.2. Бактерії *Bradyrhizobium japonicum* в біопраймінгу**

Ризобактерії, що стимулюють ріст рослин (PGPR), природним чином сприяють росту, розвитку та набуття рослинами стійкості до стресу. Ризобії — це грамнегативні палички, які вільно живуть у ґрунті (особливо там, де вирощували бобові). До таких відносяться штами бактерій *Bradyrhizobium japonicum*, які показують незвичайні властивості, фіксуючи азот під час симбіотичного росту. Штами ризобій відрізняються за своєю здатністю фіксувати азот і утворювати бульбочки на рослинах-господарях. Крім того, більш ефективні мікроорганізми, що фіксують азот, не завжди є найбільш успішними у формуванні бульбочок на коренях рослин. За останні кілька десятиліть інокуляція насіння стимуляторами росту рослин (PGPR) виявилася ефективним та екологічно чистим методом агротехніки для підвищення довговічності виробництва харчових продуктів [87]. Використання PGPR добре відповідає сучасним вимогам сільськогосподарської, економічної, соціальної та екологічної стійкості [88].

Обробка насіння живим бактеріальним інокулятом називається біопраймуванням, яке передбачає застосування ризобактерій, що стимулюють ріст рослин. Збільшує швидкість і рівномірність проростання; також забезпечує швидке, рівномірне та високе приживлення; а отже покращує якість врожаю та врожайність. Біопраймування насіння дозволяє бактеріям проникати/прилипати до насіння, а також акліматизувати бактерії в поширених умовах [89].

Повідомляється про сприятливий вплив PGPR на проростання, ріст і врожайність багатьох польових і овочевих культур. *Bradyrhizobium japonicum* є важливими в азотфіксації у симбіотичних взаємозв'язках з бобовими рослинами, зокрема соєю [90]. Дослідження Аніс та ін. [91] засвідчили той факт, що біопраймування сої штамами PGPR сприяла посиленню росту та

розвитку рослин, даної культури їх бульбочкоутворення та азотфіксації, що позначалось на значному підвищенні врожайності.

Успішне біопраймування ризобіями у полі зазвичай вимірюється ступенем утворення бульбочок, фіксацією азоту (N<sub>2</sub>), ростом рослин і врожайністю зерна порівняно з неінокульованим контролем. Крім того, *Bradyrhizobium japonicum* відіграють важливу роль у розкладанні органічної речовини, трансформації поживних речовин і регулюванні продуктивності ґрунту для росту та розвитку рослин. Експерименти Торе Daniel Bitire та ін. [92] виявили важливість інокуляції штамів бактерій (*B. japonicum*) над азотними добривами. Зразки арахісу *Vambara* в обох місцях, інокульовані чотирма штамми бактерій у цьому дослідженні, показали значну різницю у зростанні, урожайності та компонентах врожайності порівняно з застосованими азотними добривами. Це вказує на те, що штамми бактерій мали більшу перевагу над азотними добривами.

У агроєкосистемах України розповсюдження або поява специфічних ризобій, після використання мікробних препаратів, є обмеженим і відбувається лише у окремих зонах. Проте тривале існування бульбочкових бактерій у ґрунті у режимі сапрофітного харчування призводить до зменшення їх чисельності або навіть до їх зникнення з часом. Недостатня кількість цих мікроорганізмів у зоні проростання сої призводить до зниження потенціалу симбіозу. Тому необхідною практикою у вирощуванні цієї культури є обробка насіння біопрепаратами на основі високо-ефективних конкурентоздатних штамів бульбочкових бактерій. Один із ефективних сучасних методів отримання нових штамів бактерій бульбочкового типу полягає в транспозоному мутагенезі. Використання цього методу має кілька переваг порівняно з традиційними підходами у селекції ризобій. Дослідження отриманих транспозонових мутантів та їхніх властивостей є важливим для розуміння процесів і механізмів, які стоять за формуванням і функціонуванням симбіотичних систем [93].

Застосування бактеріальних препаратів для сої, які створені на основі штамів *B. japonicum*, що мають стійкість до сучасних фунгіцидів, допомагає зменшити вплив хімічного стресу на формування та функціонування симбіотичних систем. Це сприятиме підтримці високого рівня активності азотфіксації у симбіотичних системах "рослина – ризобії".

### **2.3. Методика проведення досліджень**

#### **2.3.1. Об'єкт дослідження (соя)**

Для проведення експериментів використовувалося насіння сої [*Glycine max* (L) Merrill] (сорт «Абеліна») 2023 року урожаю. В 2016 році сорт «Абеліна» був внесений до державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні. Це ранньостиглий сорт, що виділяється швидким стартовим ростом і високим потенціалом продуктивності. Рослини володіють відмінною стійкістю до хвороб і осипання. У своєму складі містить 39-40 % білка та 20-21 % жиру. Основне застосування насіння цього сорту це – виробництво соєвої олії та соєвого білка. Особливою перевагою сорту є висока продуктивність та швидкість досягнення зрілості, що дозволяє збирати врожай в оптимальний час і робить його відмінним попередником для озимих зернових. Сорт сої Абеліна рекомендується для вирощування на Поліссі, але його властивість адаптуватися до різних типів ґрунтів і кліматичних умов дозволяє вирощувати його у всіх регіонах України.

#### **2.3.2. Підготовка насіння**

Перед обробкою, діючими речовинами, насіння без видимих пошкоджень було поверхнево стерилізовано 1% розчином гіпохлориту натрію протягом 5-10 хвилин (за допомогою цього розчину ми вбиваємо зовнішні збудники захворювань, які знаходяться на оплоднику) [94]. Потім насіння промивалося дистильованою водою, після чого висушувалося на стерильному фільтрувальному папері, в асептичних умовах. Після цього всі зразки було зважено. Початкова схожість насіння без стресу була 94,4 %.

Як стимулюючі фактори впливу та задля оцінки ефективності праймування насіння сої було вибрано такі методи як:

### **2.3.3. Гідропраймінг**

Для гідропраймінгу використовували 30 насінин для кожного зразку, початкова вага для замочування протягом 0,5 год становила: 4,414 г; 4,555 г та 4,478 г. Для замочування протягом 1 год початкова вага: 4,510 г; 4,413 г та 4,463 г. Насіння поміщали в лабораторні стакани з дистильованою водою (100 мл.) та замочували протягом 0,5 год. та 1 год. після чого його сушили протягом 1 год на фільтрувальному папері (Рис.2.1).

У якості контролю слугувало необроблене насіння сої. Дослідження проводилися на кафедрі біотехнології та хімії у акредитованій лабораторії «Загальної біотехнології та хімії» Полтавського державного аграрного університету.

Для всіх методів праймування у стерилізовані чашки Петрі викладали по 30 насінин на фільтрувальний папір. У випадку контролю, гідропраймінгу та галопраймінгу папір був змочений дистильованою водою кімнатної температури. Потім проводилася обробка речовинами у трьох лабораторних повторях.



*Рис.2.1 Висушування насіння після замочування*

Різний час обробки насіння під час гідропраймінгу здатен впливати на насіння залежно від його фізіологічного стану та виду культури. Для деяких культур та сортів короткий період гідропраймінгу сприяє стимулюванню проростання, тоді як для інших, довший період може бути більш ефективним.

Maru K. з колегами [95] проводили гідропраймінг сої (*Glycine max* (L.) Merr.) в дослідницьких лабораторіях MT Carter Building Університету штату Вірджинія, під час якого попередньо перед пророщуванням здійснювали обробку насіння, яка передбачала 5 або 10-годинне замочування у воді. Досліджувані сорти показали хорошу схожість в результаті праймінгу. Dai L. Y. та колеги [96] ґрунтували насіння сої протягом 2 год. Shete D.C. та інші [97] у своїх експериментах, під час гідропраймінгу, замочували насіння протягом 30 хв. та 1 год. Обробка протягом 1 год. показала найменшу кількість днів перед появою перших сходів сої.

#### **2.3.4. Галопраймінг**

Метою дослідження галопраймінгу була оцінка впливу обробки насіння NaCl різними концентраціями на різні фізіологічні властивості, такі як відсоток проростання, швидкість проростання, значення проростання насіння сої за різних концентрацій солі. Галопраймування також передбачало пом'якшення всіх шкідливих наслідків засолення та покращення продуктивності розсади в умовах сольового стресу [98]. Насіння праймували NaCl (концентрація 10 мМ і 20 мМ) впродовж 3 годин а потім поміщали в термостат для пророщування при температурі 20°C на 24 год. після чого зразки вилучалися та пророщувалися без використання термостату. Miladinov Z. J. [99] використовував неорганічні солі для праймінгу насіння і результати досліджень показали, що шестигодинна обробка насіння була найкращою з усіх проміжків часу праймування.

### 2.3.5. Біопраймінг

При біопраймінгу насіння сої обробляли біопрепаратом Nitrofix «Noctin A + Pro Noc Multi» (Рис.2.2) на основі живих клітин *Bradyrhizobium japonicum* (кількість життєздатних клітин з дати виробництва не менше  $5,0 \times 10^9$  КУО/мл та  $1,0 \times 10^9$  КУО/мл на закінчення терміну зберігання).



Рис.2.2 Біопрепарат Nitrofix «Noctin A + Pro Noc Multi»

Препаративна форма: двокомпонентний препарат: інокулянт – рідина, прилипач-стабілізатор(речовина, яка допомагає зберігати стабільність бактерій у препараті, зберігаючи їхню життєздатність та ефективність на насіння).

Обробку здійснювали в лабораторних умовах протягом 1 год. 1 кг насіння сої (для кращого розподілення препарату) замочували в трьох концентраціях, перша рекомендована: робочий розчин( 100,34 мл інокулянту + 1,6 мл прилипача-стабілізатора) розчинити в 12 мл води.

Друга: (200,68 мл інокулянту + 3,2 мл прилипача-стабілізатора) розчинити в 24 мл води (Рис.2.3).

Третя: (401,36 мл інокулянту + 6,4 мл прилипача-стабілізатора) розчинити в 48 мл води. Після чого ставили для пророщування в термостат.



*Рис.2.3 Оброблене насіння в чашках Петрі*

### **2.3.6. Гормонопраймінг**

Під час гормонопраймінгу використовували біологічний регулятор росту «Гумат калію». Активна речовина - гумінові речовини 120 г/л (в т.ч. гумінових кислот 52%, в т.ч. фульвових кислот 48%); Азот (органічний) 15 г/л; Калій 30 г/л; Мікроелементи 10 г/л; рН – 8. Найбільшу частину становлять гумінові кислоти. Їх основними функціями є: функція акумуляції, дозволяє рослинам інтенсивно накопичувати поживні речовини, такі як макро- та мікроелементи. Гумінові речовини, що входять до складу отримують з природних органічних матеріалів, таких як торф. За допомогою стимулюючої дії, що проявляється у прискоренні проростання насіння та підвищенні стійкості до різних стресових факторів та інших фізіологічних ефектів [100].

Гумінові речовини є складними, слабо зв'язаними, надбудовами гетерогенних малих органічних сполук, що утворюються в результаті розкладання біологічної речовини (тобто рослин і тварин) і повсюдно присутні в ґрунтах і водах. Високу біологічну активність гумінових кислот пояснюють наявністю молекулярних фрагментів зі співвідношенням водню до вуглецю (H/C) в діапазоні від 0,5 до 1,0 і співвідношенням кисню до вуглецю (O/C) в діапазоні від 0,2 до 0,4 [101]. З іншого боку, біологічну активність гумінових кислот пояснюють їх участю в окисно-відновних процесах у клітинах рослин та зміцненням цих процесів за їх участю. Також вважають, що біологічна активність гумінових кислот пов'язана з таким параметром їхньої структури, як "ступінь ароматичності", що відображається у вмісті хіноїдних груп, фенольних гідроксилів та вільних радикалів [102]. Гумінові кислоти впливають на низку процесів у рослинах, наприклад, на активність ферментів, білковий обмін, фотосинтез, дихання, поглинання води та поживних речовин, потоки гормонів, проникність клітинної мембрани та активні форми кисню. Незважаючи на різні думки щодо впливу ГК, що включає механізми на рослини, більшість авторів погоджуються щодо позитивного впливу ГК на рослини та зв'язку між ГК та підвищенням метаболічної ефективності [103]. Гумінові речовини (ГВ) є найважливішим природним біостимулятором рослин. Однак взаємозв'язок між їхньою структурою та біологічною активністю в рослинах ще недостатньо вивчений.

Фульвові кислоти впливають на фізіологічні характеристики рослин безпосередньо, які, як відомо, в першу чергу, посилюють ріст коренів і поглинання поживних речовин. Деякі дослідники вважають фульвові кислоти найважливішою частиною органічної речовини ґрунту. Однак їх висока розчинність у воді ставить під сумнів можливість їх тривалого існування в природних об'єктах (за винятком підземних вод). Крім того, було встановлено, що ферменти, які здійснюють обмін вуглеводів, азоту і фосфору, тісно пов'язані з гуміновими кислотами і виділяються з ґрунту разом з ними, зберігаючи власну активність [104].

Праймування відбувалося у трьох концентраціях. Стандартна (30 мл/0,25 л води), друга (60 мл/0,50 л води), третя (120 мл/1 л води). Після праймінгу зразки у трьох повторах поміщали в термостат (Рис.2.4).



*Рис.2.4 Праймовані зразки поміщені в термостат*

Пророщування праймованого насіння тривало 14 днів [105].

### **2.3.7. Енергія проростання та схожість сої**

Згідно державного стандарту України 4138-2002 [106], енергія проростання сої та схожість у лабораторних експериментах оцінювалися на 5-й і 8-й день, відповідно. Обидва показники відображені у відсотках пророслого насіння до їхньої загальної кількості у пробі. Пророслими вважали насіння, у яких корінці або один головний корінь мали довжину, що перевищувала довжину самого насіння, а також проросток досягав довжини, яка становила не менше половини довжини насіння. Оцінювання проводилися тричі.

### **2.3.8. Електропровідність**

Паралельно у лабораторних умовах проводився тест на електропровідність, задля порівняння виходу електролітів у воду. Тест є одним із тестів на міцність, включених до правил ISTA для тестування насіння (ISTA, 2006). Високий рівень електропровідності фільтратів із насіння є

характеристикою низької польової схожості. При зниженні активності клітинних мембран та пошкодженій плазмалемі електропровідність збільшується. Суть тесту полягає в тому, що під час замочування, насіння у воді виділяє цукри, іони та інші метаболіти внаслідок зміни цілісності клітинних мембран від кількості води та стадії проростання насіння. У насінні з порушеним станом механізм відновлення може бути несправним або відсутнім, або ж мембрани повністю ушкоджені, що спричиняє вилив більшої кількості електроліту. Хоча результати тестів на провідність можуть бути відтворені в лабораторних умовах, деякі фактори, такі як розмір, температура та тривалість замочування, а також наявність фізично пошкодженого насіння, можуть впливати на результати. Проте всі ці впливи можна контролювати з метою їх мінімізації. Крім того, існують інші фактори, які не так просто піддаються контролю, такі як: генотип, стадія розвитку насіння під час збирання та умови його зберігання [107].

Для оцінки життєздатності насіння сільськогосподарських культур використовується показник, який вимірюється як "вихід електролітів" із насіння. Зазвичай, чим менше електропровідність водних розчинів, отриманих з насіння, тим більш міцні клітинні мембрани. Цей показник аналізувався за дослідженнями [108].

Шість зразків насіння сої, які попередньо були праймовані та висушені протягом 24 год. (гідропраймінг(0,5 год замочування), гідропраймінг(1 год замочування), галопраймінг (10 мМ), галопраймінг (20 мМ), біопраймінг (стандартна концентрація), біопраймінг (друга концентрація), біопраймінг (третя концентрація), гормонопраймінг (стандартна концентрація), гормонопраймінг (більша концентрація)) та безпосередньо контроль (насіння без обробки) по 30 насінин без механічного пошкодження були одночасно поміщені в лабораторні стакани, ємністю 200 мл, що містили 100 мл. дистильованої води. Дистильована вода показала електропровідність 5 мкСм/см. Це є нормою за стандартом [109]. Електропровідність насіння сої визначали за виходом електролітів у розчин протягом 8 год. гідратації насіння

за температури 25°C. Проводилося вимірювання кожну годину, за допомогою мультиметра AD8000 ADWA[110]. Лабораторні досліди проведені у трьох повторях.

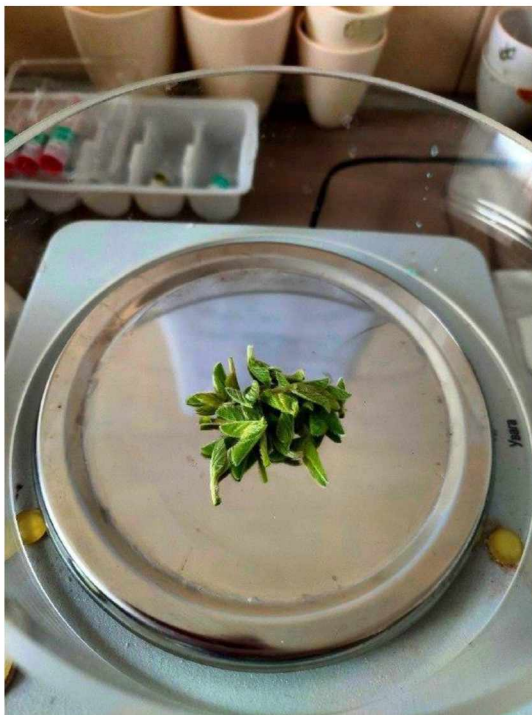
### **2.3.9. Визначення хлорофілу а, b та каротиноїдів**

Фотосинтетична здатність рослин визначається вмістом і вимірюванням хлорофілу а і b в листі та каротиноїдів. Праймінг насіння має здатність позитивно впливати на вміст хлорофілу шляхом підготовки насіння до оптимальних умов для проростання. Це сприяє збільшенню активності ферментів, які беруть участь у синтезі хлорофілу. Хлорофіл-b як допоміжний пігмент опосередковано діє на фотосинтез, передаючи світло, яке він поглинає, хлорофілу-a. Каротиноїди, в свою чергу, відповідають за кольорову пігментацію рослини, необхідну для приваблення запилювачів і захисту від шкідників, містяться вони в хромопластах. Також їх функція-захист рослинних тканин від ультрафіолетового випромінювання, синтезу вітаміну А, що необхідний для фотосинтезу та регулювання росту [111].

На 14-й день лабораторного дослідження визначали вміст хлорофілу та каротиноїдів у листі сої згідно методики [112]. Зразки листя відібрали з рослин пророщених під дією: гідропраймінгу(0,5 год.), галопраймінгу(10ММ-менша концентрація), біопраймінгу(друга концентрація) та контролю. Кожний зразок був зважений по 500 мг (Рис.2.5).

Окремо кожну наважку листя переміщали в порцелянову ступку для подальшого подрібнення товкачиком з додаванням карбонат кальцію ( $\text{CaCO}_3$ ) у кількості: 200 мг. Після чого додавали 96-% етаноловий спирт (10 мл). Після повного подрібнення готову суміш переливали в мірну колбу (25 мл) через воронку з фільтрувального паперу. Довели спиртом до риски в колбі та збовтують. Потім, відфільтровану рідину, відбираємо в першу кювету, в іншу-спирт. Поглинання оптичної густини вимірювали на фотоелектроколориметрі КФК-3 (315-990 нм). Спектрофотометричне вимірювання проводили за максимумами поглинання хлорофілу а-665 нм,

хлорофілу b-649 нм, каротиноїдів-470 нм. Отримані дані були проаналізовані та виражені в таблиці.



*Рис.2.5 Зважування листя сої*

Окрім цього, на 14-й день експерименту була виміряна та порівняна довжина проростків та корінців пророщеної сої за різних умов праймування. Виміри виражалися у см, підраховувалося середнє арифметичне з усіх проростків у зразках.

#### **2.4. Обладнання для праймінгу на виробництві**

У технології виробництва зерна важливе місце займає передпосівна обробка насіння робочими розчинами біологічних захисно-стимулюючих засобів з метою захисту його від хвороб, шкідників і стимулювання дружнього початкового розвитку в ґрунті. Висока якість передпосівної обробки передбачає: по-перше, дотримання рекомендованих норм витрати, тобто необхідно точно витримувати необхідну кількість робочого розчину для певної кількості насіння; по-друге, робочий розчин, відповідно, і діюча речовина повинні бути рівномірно розподілені по об'єму обробленого насіння

і поверхні кожного окремого зерна, по-третє, робочий розчин повинен прилипати і міцно прилягати до поверхні насіння при збереженні всієї дози діючої речовини навіть після механічних впливів у процесі пакування, транспортування, розвантаження та посіву, по-четверте ступінь травмування насіння після обробки не повинна перевищувати норм агротехнічних вимог і не знижувати схожість насіння.

Інокуляція на великих виробництвах повинна проходити з використанням заходів для зменшення травматизації насіння під час обробки. Важливо притримуватися цих правил: шнеки (механічні пристрої, які використовуються для транспортування сипучих матеріалів) повинні працювати на нижчій швидкості та бути постійно заповнені насінням; на приймальній частині шнека має бути встановлена гумова або пластикова прокладка, щоб зменшити силу удару насіння під час завантаження; необхідно своєчасно оновлювати протруювальну техніку або її окремі частини, оскільки зношення обладнання сильніше травмує насіння; слід зменшувати висоту падіння насіння під час навантаження зі шнека до 3 метрів; також варто обережно переміщувати мішки з насінням, оскільки кидання їх на твердий настил знижує схожість насіння до 10%.

Аграрії застосовують три основні методи для обробки насіння. Сухий метод – включає обпилювання посівного матеріалу порошкоподібними засобами захисту. Зазвичай, для цього використовують спеціальне обладнання. Напівсухий метод – захисний препарат розводять до консистенції густої суспензії, а потім зволожують ним садивний матеріал. Мокрий метод – застосовують водорозчинні протруйники, якими змочують насіння або повністю занурюють його в рідину на певний час. При цьому методі насіння замочується в розчинах, після чого відбувається сушка. Види протруйників для насіння – такі пристрої для протруювання насіння поділяються залежно від механізму змішування. Шнековий тип - посадковий матеріал обробляється під час його переміщення вздовж шнека (Рис.2.6). Таке обладнання підходить для вологого та сухого протруювання. Процес обробки насіння

біопрепаратами здійснюється за допомогою шнекових протруювачів шляхом подачі дозованих потоків насіння та препарату в шнек, їх перемішування під час транспортування до вивантажувальної горловини. Основними перевагами шнекових протруювачів є простота конструкції та невелика вартість.



*Рис.2.6 Протруювач шнековий ПНШ-3-01*

Барабанний тип обладнання - насіння разом із хімічними речовинами завантажується в барабан, де під час обертання відбувається рівномірна обробка (Рис.2.7).



*Рис.2.7 USC LPH800 протруювач насіння барабанного типу*

Камерні протруювачі забезпечують кращу якість обробки та зменшують пошкодження насіння. Камерний тип – у цьому обладнанні насіння безперервно потрапляє до камер, де речовини розпорошуються зі спеціальних дисків (Рис.2.8). Елементи керування та регулювання потоку насіння, дозування і подачі робочого розчину в камерних протруювачах дозволяють їм працювати в автоматичному режимі. Процес включає: дозування і подачу насіння зернових культур, а також робочої рідини в камеру протруєння, формування потоку насіння у вигляді порожнього циліндра та попередню їх обробку розпорошеного рідкого препарату в спеціальній камері. Цей спосіб є найбільш зручним та ефективним.



*Рис.2.8 ПКС-20 П протруювач камерного типу*

На спеціальних площадках для обробки насіння використовуються високопродуктивні пересувні камерні протруювачі, зокрема ПКС-20 та ПК-20 Супер від «Львівагромашпроект» (Україна), Mobitox-Super від «Farmger» (Угорщина). Протруєне насіння завантажують у автозавантажувачі сівалок або використовують шнекові протруювачі, такі як ПНШ-5 і ПНШ-3 від «Львівагромашпроект», або Gramax-V від «Farmger», з залученням мішків для завантаження насіння.

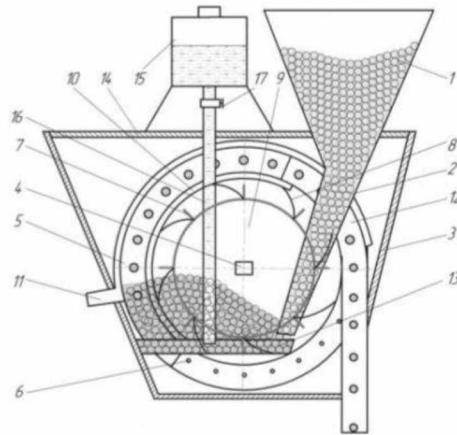
Для обробки насіння можна використовувати універсальні протруювачі ПНУ-4, ПНУ-10 та їх модифіковані версії (Рис.2.9), розроблені в ННЦ «ІМЕСГ». Ці протруювачі призначені для обробки насіння різних культур, включаючи зернові, бобові і технічні культури, за допомогою плівкоутворюючих робочих рідин. їх продуктивність здатна сягати від 3 до 20 тонн на годину.



*Рис.2.9 Загальний вигляд універсальних протруювачів а) - ПНУ-4 та б) – ПНУ-10*

Розроблені протруювачі виконують дозування насіння, розподіл його по поверхні конічного робочого органа та обробку нерозпилим рідким препаратом за допомогою єдиного активного робочого органу, який одночасно служить розподільником насіння. Вони забезпечують високу якість обробки, для зернових культур рідкими препаратами. Крім того, вони уникатимуть пошкодження насіння та очищатимуться від залишків препарату та домішок перед обробкою.

У Науково-дослідному центрі "ІМЕСГ" розроблено пристрій для висівних апаратів сівалок, призначений для обробки насіння біопрепаратами безпосередньо під час його висіву сівалками для просапних культур. Схема цього пристрою зображена на рисунку 2.10.



1 - бункер для насіння, 2 - патрубок, 3 - корпус, 4 – вісь, 5 - висівний диск, 6 – отвір, 7 - лопатева ворушила, 8 - активатор, 9 - насіннева камера, 10 - вакуумна камера, 11 – трубопровід, 12 – насіннеспровід, 13 - ванночка, 14 – кришка, 15 - герметична місткість, 16 - випускний патрубок, 17 – кран

*Рис.2.10 Конструкційна схема пристрою для обробки насіння рідкими біопрепаратами*

Для зменшення витрат на придбання нових технічних засобів для впровадження механізованих методів використання біопрепаратів у сільському господарстві, рекомендується використовувати наявне устаткування для праймінгу насіння. Важливо враховувати їх технічні характеристики, зокрема продуктивність, якість виконання операцій та вартість [113].

## РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1. Аналіз впливу різних праймерів на енергію проростання та схожість рослин

Дані про залежність енергії проростання насіння сої від виду праймування наведено в діаграмі (Рис.3.1.). Вона вимірювалася на 5-й день експерименту. Показники були виражені відсотковим відношенням кількості насіння, що проросло, до загальної кількості висіяного. До нормальних проростків віднесли такі, у яких найбільш важливі структури (корінці, підсім'ядольне та надсім'ядольне коліна, брунечка, сім'ядолі, колеоптіль) пропорційно і добре розвинуті. Початкова схожість насіння – 94,4 %.



Рис.3.1 Залежність енергії проростання насіння сої від виду праймування

Аналізуючи результати вимірювання енергії проростання, бачимо, що всі зразки показали високий відсоток проростання на 5-й день експерименту(Рис.3.2). Але найгірші відсотки – при гормонопраймінгу.



*Рис.3.2 Насіння сої оброблене біопрепаратом на 5-й день експерименту*

Найвищий відсоток маємо у зразку галопраймінг, проросле насіння становило 100% - 10мМ (менша концентрація - 0,585 г солі NaCl розводили в дистильованій воді), та галопраймінг 20 мМ – 98,8% (більша концентрація- 1,17 г солі NaCl розводили в дистильованій воді). Такий ефект зумовлений тим, що NaCl діє як антисептик, знищуючи патогени на поверхні насіння, що сприяє кращому проростанню. Але, занадто висока концентрація солі має негативний вплив, інгібуючи проростання.

Біопраймування (рекомендована концентрація) продемонструвало 97,7% пророслого насіння. Тоді як друга (більша) концентрація біопрепарату «Noctin A+Pro Noc Multi (Nitrofix)» мала менший відсоток – 96,6 %, а третя найвища концентрація показала 93,2 %. Це пов'язано з тим, що бактерії які містяться в препараті (*Bradyrhizobium japonicum*) здатні виробляти фітогормони, такі як ауксини, цитокініни і гібереліни, які стимулюють ріст коренів і пагонів, що прискорює проростання насіння. Також вони мають здатність захищати від патогенів, виробляючи, антимікробні сполуки, які покращують здоров'я і швидке проростання сої. Проте, найвища концентрація

препарату показало не таку високу енергію проростання. Це пов'язано з конкуренцією за ресурси. Азотфіксуючі бактерії *Bradyrhizobium japonicum* потребують енергії та поживних речовин для своєї життєдіяльності. Якщо їх концентрація занадто висока, вони конкурують з насінням сої за ці ресурси, що обмежує доступність необхідних речовин для проростання.

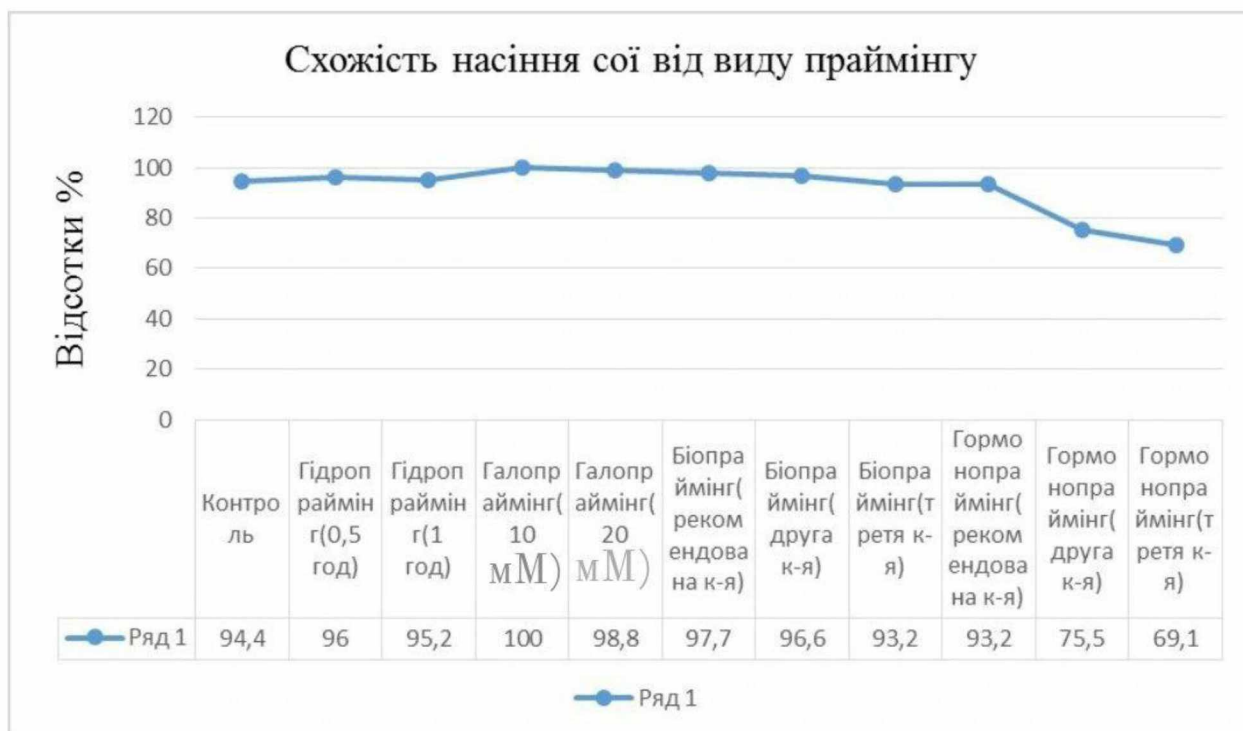
Або причиною став дисбаланс азоту. Азотфіксуючі бактерії здатні змінювати баланс азоту в ґрунті, що впливає на метаболізм насіння. Надмірна фіксація азоту створює умовно несприятливе середовище для проростання.

Насіння оброблене методом гідропраймінгом (водою) протягом 0,5 год показало енергію проростання 95,5%. При праймуванні протягом 1 год енергія проростання становила 94,3%. Такий гарний результат зумовлений короткочасним замочуванням у воді, яке активізувало метаболічні процеси у насінні. Вода проникає в насіння, активізуючи ферменти, які відповідають за перетворення збережених поживних речовин в енергію та стимулюють ріст зародка. Також вода добре посприяла набухання насіння, що полегшило проростання. Гідратоване насіння має більшу доступність до необхідних для росту ресурсів, таких як кисень і поживні речовини. Енергія проростання визначається швидкістю та рівномірністю проростання насіння. Гідропраймінг сприяє більш синхронному і швидкому проростанню, що забезпечує більш однорідні та міцні сходи.

Обробка насіння методом гормонопраймінгу (рекомендована концентрація) біологічним регулятором росту «Гумат калію» показала енергію проростання – 93,2%. Гумінові кислоти, які містяться у складі мають антиоксидантні властивості, які можуть захищати клітини насіння від окислювального стресу, тим самим підтримуючи здоров'я насіння і його здатність до проростання. Проте, більша концентрація цього біопрепарату (60 мл/0,50 л води) та найбільша (120 мл/1 л води) вплинули найгірше на енергію проростання сої – 75,5% та 69,1% пророслого насіння. Це пов'язано з токсичним впливом гумінових та фульвових кислот у високих концентраціях.

Вони здатні створювати токсичне середовище для насіння. Це зумовлює пригнічення росту коренів і пагонів, порушує водний баланс і обмін речовин.

Схожість насіння сої була виміряна на 8-й день експерименту. Показник також виражався у % від загальної кількості насінин, вказував на кількість схожих насінин. Результати наведені в діаграмі (Рис.3.3).



*Рис.3.3 Схожість насіння залежно від виду праймінгу %*

На діаграмі спостерігаємо майже такі ж результати, як і під час вимірювання енергії проростання. В порівнянні з контролем та гідропраймінгом а також гормонопраймінгом бачимо значну перевагу у галопраймінгу (менша к-я) – 100% схожого насіння, галопраймінг (більша к-я) – 98,8%. На рисунку 3.4. зображено пророщене насіння сої під впливом галопраймінгу на 8-й день експерименту.



*Рис.3.4 Пророщене насіння сої під впливом галопраймінгу*

Біопраймінг також показує чудовий відсоток пророслого та схожого насіння. Рекомендована к-я: 97,7%, більша: 96,6%, найвища: 93,2%. Хороші результати схожості значним чином пов'язані з стабільним ростом і розвитком рослин, їх продуктивністю та врожайністю.

Отже, більшість зразків праймованого насіння сої сорту Абеліна показали результати, які свідчать про високу схожість та швидку енергію проростання. Це говорить про те, що насіння високої якості та здорове. Високі показники вказують на високий потенціал сої для успішного подальшого проростання та розвиток рослин. Гормонопраймінг відстає у кількості пророслого насіння.

### **3.2.Оцінка електропровідності сої**

У лабораторних умовах був проведений тест на електропровідність, задля порівняння виходу електролітів у розчин. Тест допомагає виявити фізіологічні пошкодження, які можуть бути не помітні при візуальному огляді. Це особливо важливо для визначення стану насіння, яке може виглядати здоровим зовні, але має внутрішні пошкодження. Висновки тесту на

електропровідність корелюють з показниками схожості насіння. Насіння з низькою електропровідністю зазвичай має вищу схожість, що важливо для прогнозування продуктивності посівного матеріалу для аграріїв. Результати дослідження впливу часу замочування на електропровідність витяжки з насіння представлено на рисунку 3.5.

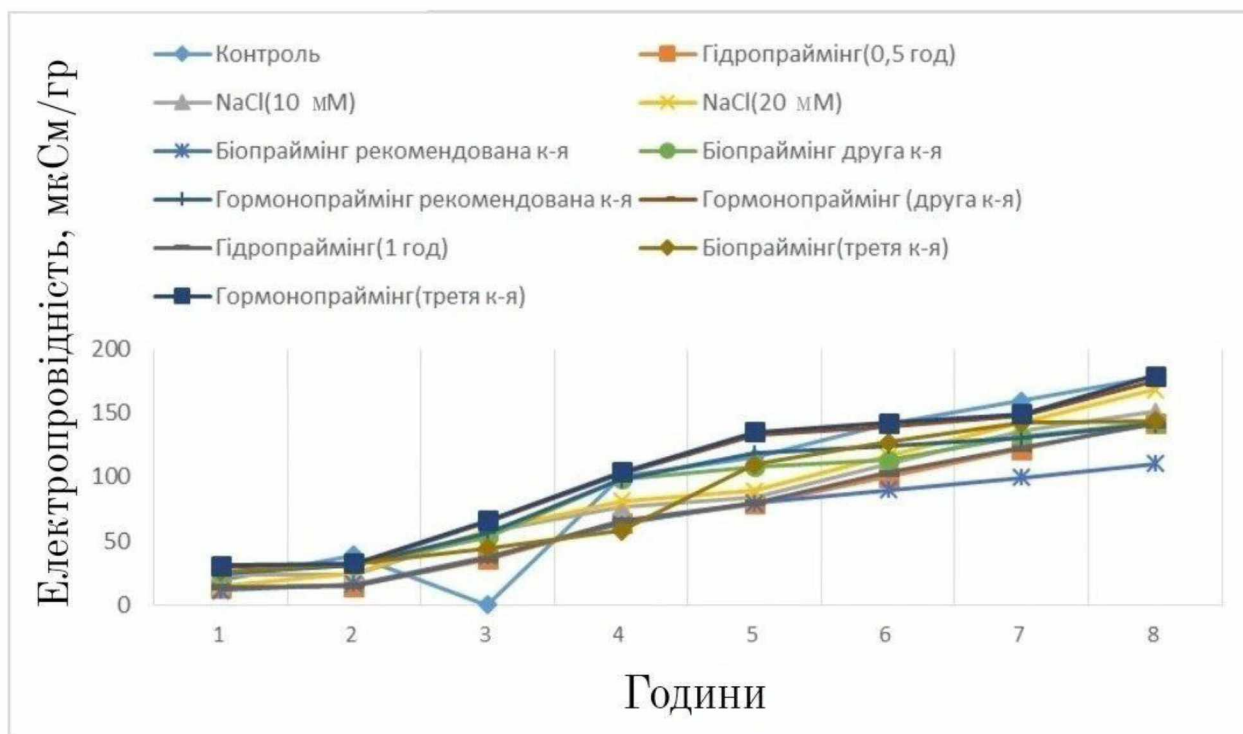


Рис.3.5 Залежність електропровідності витяжки залежно від часу замочування

На цьому графіку ми бачимо результати показників виходу електролітів у дистильовану воду, які вимірюються в мкСм\гр. Знизу – час замочування, починаючи з 1 год, закінчуючи 8 год. Зліва зображені показники, які варіювалися від 0 до 200. Отже, чітко видно, що крива яка знаходиться найвище - це гормонопраймінг (найвища концентрація: 120 мл/1 л води). Соя, праймована біологічним регулятором росту показала найгірший результат. Через вихід електролітів, який є високим можна сказати: це є свідченням того, що можливо були пошкодження або розрив клітинних мембран, що призвело до витоку внутрішньоклітинних іонів у зовнішнє середовище. А це в свою чергу свідчить про поганий фізіологічний стан насіння.

Такий результат виявився фактом того, що висока концентрація Гумату Калію впливає негативно на якість сої. Це викликало осмотичний стес або токсичний ефект на насіння. Також, фульвові та гумінові кислоти, які є у складі у високих концентраціях можуть змінювати фізико-хімічні властивості клітинних мембран або впливати на біохімічні процеси, які в свою чергу підтримують цілісність мембран [114].

Найкращий результат, тобто найменшу кількість електролітів, які вийшли в розчин, показало насіння сої, оброблене методом біопраймінгу (біопрепаратом Nitrofix) в рекомендованій виробниками концентрації. Це свідчить про позитивний фізіологічний стан насіння та про те, що клітини насіння менше піддаються стресу завдяки такій рекомендованій концентрації біопрепарату. Використання методу біопраймінгу цим препаратом, що покращує загальний стан рослин і їхню стійкість до стресу, зменшує рівень пошкодження клітинних мембран і, відповідно, вихід електролітів у воду.

Інокуляція біопрепаратами на основі *Bradyrhizobium japonicum* сприяє підвищенню стабільності клітинних мембран рослин, роблячи їх менш проникними для іонів та зменшуючи витік електролітів. Це пов'язано з підвищенням вмісту антиоксидантів або інших захисних сполук у клітинах. Також праймування азотфіксуючими бактеріями могло стимулювати системні захисні механізми рослини, такі як виробництво фітоалексинів та інших захисних білків, що зміцнюють клітинні стінки та мембрани, зменшуючи їх проникність.

Варіант «контроль» показав близький показник до гормонопраймінгу(найвища концентрація). Тобто насіння без обробки мало теж високий витік електролітів, через існування високої кореляції між псуванням насіння та витоком вуглеводів з нього. Галопраймінг (20мМ) показав гірший результат, аніж обробка сої NaCl меншою концентрацією (10 мМ).Надлишок рідини могло зменшити доступність кисню, а отже, дихання, затримуючи або паралізуючи майбутній розвиток рослини. Більша концентрація могла вплинути як осмотичний стрес для насіння. Внаслідок

цього вода витягується з клітин насіння, що призводить до дегідратації клітин. Осмотичний стрес і дегідратація можуть призводити до пошкодження клітинних мембран. Клітинні мембрани втрачають свою цілісність, що призводить до витікання внутрішньоклітинних компонентів, зокрема електролітів. Висока концентрація солі здатна порушувати баланс іонів всередині та зовні клітин, що впливає на мембранний потенціал. Це спричиняє відкриття іонних каналів або інші процеси, що сприяють витіканню електролітів. Таким чином, вища концентрація солі натрій хлориду у високих концентраціях має токсичний ефект на клітини.

Бачимо, що гідропраймінг протягом 0,5 та 1 год. показав не високий витік електролітів. Це свідчить про те, що таке короткочасне замочування не спричинило значного осмотичного стресу для насіння. Це дозволило клітинам насіння сої залишитися відносно непошкодженими. За цей час насіння встигає зволожитися, але не настільки, щоб відбулась перенасиченість водою, що могла б пошкодити клітинні мембрани. Вода проникає у насіння, забезпечуючи необхідне зволоження для підтримки клітинних структур без їх руйнування. Також вода без солей не створює осмотичного шоку, який виникає при використанні розчинів з високою концентрацією солей. Це означає, що осмотичний тиск між внутрішнім середовищем клітин і зовнішнім залишається збалансованим, що запобігає руйнуванню клітинних структур. Так, замочування насіння сої у воді протягом короткого часу створює оптимальні умови для зволоження без пошкодження клітин, що призводить до низького витоку електролітів.

### **3.3. Дослідження біохімічного складу сої під впливом праймінгу: вміст хлорофілу та каротиноїдів**

На 14-й день експерименту було досліджено вплив різних видів праймування насіння а саме: гідропраймінгу(0,5 год.), галопраймінгу(10ММ-менша концентрація), біопраймінгу(друга концентрація) та контролю на склад основних компонентів фотосинтетичного апарату рослини – хлорофілів *a* і *b* та каротиноїдів.

На рисунку 3.6. зображено як відбувалася фільтрація рідини.



*Рис.3.6 Процес фільтрації*

Результати виміряних показників представлені в таблиці. (Табл.3.1.)

**Таблиця 3.1.**

*Табл. Вміст фотосинтетичних пігментів у сої за різного праймінгу насіння*

Вид праймування	<i>Chl a</i>	<i>Chl b</i>	<i>Ct</i>	<i>Chl(a+b)</i>	<i>Chl a/Chl b</i>	<i>(Chl a+Chl b): Ct</i>
Контроль	0,315	0,220	0,533	0,535	1,431	1,003
Гідропраймінг(0,5 год.)	0,602	0,255	0,720	0,857	2,360	1,190
Галопраймінг(10 мМ)	0,680	0,285	0,743	0,965	2,385	1,298
Біопраймінг(друга концентрація)	0,789	0,351	0,824	1,14	2,247	1,383

За даними таблиці видно, що найвищі показники в варіантах: біопраймінгу (препарат Nitrofix, друга концентрація) та галопраймінгу (NaCl 10 мМ). Найкращі показники хлорофілу а і b та каротиноїдів у листі сої, яка оброблялася бактеріальним препаратом, свідчить про позитивну дію *Bradyrhizobium japonicum*. Завдяки цим бактеріям, рослина отримувала додатковий азот, необхідний для росту та розвитку. А він в свою чергу є важливим компонентом хлорофілу, його достатня кількість сприяє підвищенню рівня цього пігменту.

### 3.4. Аналіз біометричних показників сої

На 14-й день експерименту також була виміряна та порівняна довжина проростків та корінців пророщеної сої за різних умов праймінгу. Ці вимірювання дозволяють побачити, який метод праймінгу є найбільш ефективним для покращення росту та розвитку проростків сої. Результати довжини головних корінців проростків зображено на діаграмі, показники виражені в см. (Рис. 3.7.).



Рис.3.7 Дані середньої довжини корінців при різному праймінгу

Згідно вимірювань можна зробити висновки, що найбільша середня довжина корінців (+7,5 см) виявлена у проростків сої оброблених методом біопраймінгом, а саме другою концентрацією (вдвічі більшою за рекомендовану) препарату Nitrofix. На другому місці найбільша концентрація біопрепарату на основі бразилоризобій, середня довжина – +7,1 см. Третє місце – рекомендована концентрація цього ж препарату, середня довжина становить – +6,7 см. Такий позитивний результат обумовлений наявністю в препараті азотфіксуючих бактерій *Bradyrhizobium japonicum*, які фіксують азот, забезпечуючи рослину додатковим джерелом поживних речовин.

Найгірший результат отримали під час вимірювання корінців у сої пророщеної методом гормонопраймінгу. Найбільша концентрація – +2,3 см, середня концентрація – +2,6 см, рекомендована – +2,8 см. Можливо сої не підійшов цей препарат та його концентрації, гумінові кислоти не вплинули позитивно. Середня довжина варіанту контроль становила +3,5 см. Гідропраймінг (0,5 год) – +6,64 см. В порівнянні з гідропраймінгом протягом 1 год (+5,4 см) замочування це хороший результат. Також галопраймінг в більшій концентрації солі (20 мМ) показав результат – +6,7 см середня довжина коріння. А 10 мМ – +5,7 см.

Проте, ці проміжні результати є не поганими. На рисунку 3.8. зверху зображено проростки під впливом галопраймінгу(10 мМ), знизу проростки під впливом біопраймінгу(найвища концентрація).

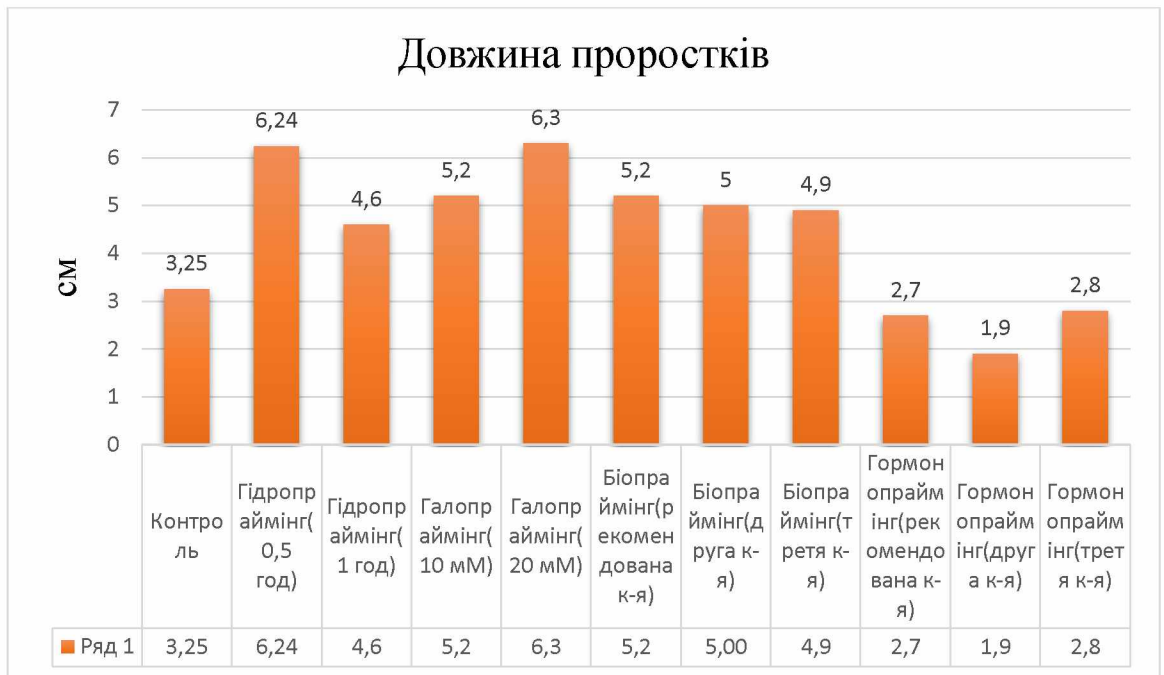


*Рис.3.8 Проростки сої під впливом галопраймінгу та біопраймінгу*

На фото видно, що проростки знизу мають довші корінці (біопраймінг більша концентрація), а зверху корінці під впливом галопраймінгу(10 мМ NaCl) є меншими.

Виміри довжин проростків (довжина стебла від кореневої шийки до верхівки) зображено на рис.3.9.

Найбільшу середню довжину проростків показали зразки на відповідь галопраймінгу (NaCl 20 мМ) – +/- 6,3 см. На другому місці гідропраймінг(0,5 год) – +/- 6,2 см. Третє місце розділяють зразки під впливом галопраймінгу (10 мМ) – +/- 5,2 см та біопраймінгу(рекомендована концентрація) – +/- 5,2 см. Не погану середню довжину показав гідропраймінг(1 год) – 4,6 см. Біопраймінг (біопрепарат Nitrofix) у другій концентрації показав загальну середню довжину проростків – +/-5 см. Гормонопраймінг займає останнє місце по середній довжині проростків. Рекомендована концентрація «Гумат калію» - +/- 2,7 см, вдвічі більша концентрація – +/- 1,9 см, найвища – +/- 2,8 см.



*Рис.3.9 Дані середньої довжини проростків при різному праймінгу*

Отже, видно як позитивно вплинув метод короткочасного праймінгу та галопраймінгу на активний ріст проростків.

Окрім цього, було порівняно вагу насіння до і після закінчення експерименту – на 14-й день. Вага насіння до праймінгу коливалася від 4,096 г до 4,555 г. В одному зразку – 30 насінин. В діаграмі (Рис.3.10.) зображені результати загальної маси пророщеної сої у грамах на 14-й день.

Найкращу середню загальну вагу серед всіх зразків показав біопраймінг (найвища використана концентрація: 401,36 мл інокулянту/1000 г насіння + 6,4 мл стабілізатора/1000 г насіння, розчинити в 48 мл. води) – +-18,9 г. Біопраймінг в рекомендованій концентрації препарату – +- 18,1 г. В середній концентрації – +- 16,5 г пророщеної сої. Це говорить про хороший вплив бактерій *Bradyrhizobium japonicum*, наявних в препараті «Nitrofix». Вони здатні виділяти фітогормони (наприклад: ауксини) які стимулюють ріст коренів і підвищують загальну біомасу рослини.



*Рис.3.10 Загальна середня вага сої після пророщення*

Також, бачимо високий середній показник загальної біомаси в сої обробленої галопр аймінгом(10 мМ NaCl) – +- 16,4 г. Це пов'язано з невеликою концентрацією NaCl, яка викликала помірний стрес у рослин, що активує захисні механізми і метаболічні процеси, які могли призвести до збільшення росту і біомаси рослин. Також, солі в помірній кількості можуть стимулювати певні фізіологічні процеси, такі як підвищення поглинання води або поживних речовин, через модифікацію осмотичного тиску.

Насіння сої, оброблене гідропраймінгом (0,5 год замочування) показало не поганий результат – +-15,8 г. загальної середньої біомаси рослин. Гідропраймінг прискорив проростання насіння, він здатний впливати на активацію певних генів, що беруть участь у регуляції росту та розвитку. Гідропраймінг протягом 1 год показав трохи нижчий результат – +- 13,5 г. Найгірший результат – гормонопраймінг, рекомендована концентрація – +- 10,4 г, друга концентрація – +-10,3 г, найвища – +-9,6 г загальної середньої біомаси рослин. Це пов'язано з надлишком гуматів у концентраціях препарату, що призвело до його токсичності на рослину.

Отже, є велика кореляція між препаратом «Nitrofix» та загальною високою біомасою рослин сої. Тож цей препарат має надзвичайний вплив на ріст і розвиток рослин згідно з результатами.

### 3.5. Статистична обробка даних

Середню загальну біомасу в грамах між всіма зразками праймованого насіння визначали за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel. Програма для електронних таблиць має вбудовані функції для обчислення середнього арифметичного числового значення у рядках або стовпцях. Результати розрахунку середніх значень наведені в таблиці 3.2. Де  $\bar{x}$  - середнє арифметичне значення.

**Таблиця 3.2**

*Табл.3.2 Розрахунок середнього значення між показниками середньої загальної біомаси рослин в г.*

Метод и	Контроль	Гідо(0,5)	Гідро(1)	Гал 10мм	Гал 20 мм	Б(рек. к-я)	Б(друга)	Б(третя)	Г(рек.к-я)	Г(друга)	Г(третя)
№1	13,63	13,86	12,28	14,18	12,22	19,10	15,58	16,13	10,50	11,60	9,46
№2	17,20	10,90	11,72	16,07	11,54	23,23	19,87	15,67	9,70	10,10	9,95
№3	12,15	22,80	16,72	19,13	17,31	12,00	14,29	25,10	11,20	9,40	9,52
$\bar{x}$	14,33	15,85	13,57	16,46	13,69	18,11	16,58	18,97	10,47	10,37	9,64

### 3.6. Охорона праці

Всі лабораторні дослідження були виконані в лабораторії «Загальної біотехнології». Успішна робота можлива лише за умов суворого дотримання встановлених правил роботи, вимог техніки безпеки і гігієни праці. Важливо знаходитися в лабораторії в захисному одязі: халат та рукавички. Режим роботи в лабораторії визначається такими основними правилами : загальні положення, вимоги безпеки перед початком роботи, вимоги безпеки під час виконання роботи, вимоги безпеки після закінчення роботи, вимоги безпеки в аварійних ситуаціях. В лабораторії розписані всі ці правила детально, а також є в наявності вогнегасник, коробка із піском та аптечка з усім необхідним у разі виникнення нещасних ситуацій.

Перед початком роботи в лабораторії обов'язковим є ознайомлення з інструкціями до кожного приладу з яким планується робота, а також перевірка справності обладнання перед його використанням. Після завершення роботи приладу потрібно вимикати та повідомляти в разі несправностей завідувача лабораторії. Також в лабораторії завжди підтримується чистота та порядок робочих місць.

У лабораторії використовуються певні концентрації речовин, які не є шкідливими для навколишнього середовища. Також навчально-наукова лабораторія «Загальної біотехнології» чітко дотримується законодавчих та нормативно-правових актів з охорони праці в галузі. Таких як:

- 1) «Положення про порядок розслідування та введення обліку нещасних випадків, професійних захворювань» (№1112 від 25.08.2004 р.)
- 2) «Положення про Державний Комітет України з нагляду за охороною праці» (№ 29/2003 від 16.01.2003 р.).

## ВИСНОВКИ

Виконаний аналіз ефективності різних видів праймінгу та біотехнологічних підходів на покращення росту і розвитку на ранніх етапах вегетації насіння сої.

1. Для вибраних методів праймінгу використовували такі біологічні агенти, як бактерії *Bradyrhizobium japonicum* для біопраймінгу та торф для гормонопраймінгу. Методи гідропраймінгу з використанням дистильованої води та галопраймінгу з застосуванням солей NaCl використовували для порівняння.

2. Гідропраймінг протягом 0,5 год збільшив схожість насіння на 1,6 %, гідропраймінг протягом 1 год на 0,8 %. Під час тесту на електропровідність насіння, яке було замочено протягом 0,5 год показало менший витік електролітів, ніж 1-годинне праймування. Це свідчить про те, що вода не встигла за короткий час значно пошкодити клітинні мембрани та залишила насіння в хорошому стані для подальшого проростання. В порівнянні з контролем показники хлорофілів а, b та каротиноїдів збільшились під час гідропраймінгу 0,5 год. Такий результат говорить про позитивний вплив гідропраймінгу на склад фотосинтетичного апарату рослин. Біометричні показники теж свідчать про позитивний вплив гідропраймінгу. Довжина корінців в порівнянні з контролем у гідропраймінгу протягом 0,5 год зросла на 3,1 см, протягом 1 год – на 1,9 см. Середня довжина проростків при гідропраймінгу 0,5 год зросла майже 3 см, при 1 год – на 1,35 см. Найбільша загальна середня біомаса рослин між гідропраймінгом протягом 0,5 год і 1 год показує, що ефективніше використовувати 0,5 год замочування.

3. Галопраймінг (10 Мм) показав найбільшу енергію проростання та схожість – 100%. Галопраймінг (20 Мм) – 98,8 %. Це говорить про сприятливий вплив вибраних концентрацій NaCl. Тест на електропровідність довів, що менша концентрація NaCl (10 Мм) сприяла меншому витоку електролітів, це свідчить про мінімальне пошкодження клітинних мембран.

Дослідження складу фотосинтетичного апарату рослин показало – суттєве збільшення загального хлорофілу та каротиноїдів праймованих методом галопраймінгу. Довжина корінців та проростків в порівнянні з контролем теж збільшилася. Загальна середня біомаса більша була при галопраймінгу в концентрації 10 Мм NaCl.

4. Біопраймінг у всіх трьох концентраціях – показав хороші результати. А саме: рекомендована концентрація препарату «Nitrofix» збільшила енергію проростання та схожість в порівнянні з контролем на 3,3 %; вихід електролітів у розчин був найменшим з усіх зразків праймованого насіння. Це пояснює позитивний вплив та перевагу біологічного препарату на основі *Bradyrhizobium japonicum*. Бактерії також вплинули на найвищі показники хлорофілів а і b та каротиноїдів у рослинах. Біометричні показники у сої, обробленої методом біопраймінгу показали одні з найкращих результатів. Найвищий приріст загальної маси рослин відбувся під час праймування найвищою концентрацією препарату – 18,9 г. Рекомендована концентрація – 18,1 г. Такий позитивний вплив свідчить про подальший рівномірний розвиток та ріст рослин.

5. Гормонопраймінг, а саме рекомендована концентрація препарату показала хорошу енергію проростання та схожість – 93,2 %. Інші концентрації показали найнижчі результати. Під час тесту на електропровідність, виявлено: найвища концентрація препарату сприяла великому виходу електролітів. Рекомендована та друга концентрація показали меншу, але в порівнянні з іншими зразками високу електропровідність. Біометричні показники свідчать про негативний вплив препарату на сою, що сприяло поганому проростанню. Не всі гумати однакові за своїм складом і якістю. Деякі препарати можуть містити домішки або побічні продукти, які можуть бути шкідливими для рослин сої. Тому, цей препарат потрібно детально досліджувати.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Al Hijab L.Y.A., Al-Hazmi N.E., Naguib D.M. Rhizobacteria-priming improves common bean seeds germination under different abiotic stresses through improving hydrolysis and antioxidant enzymes kinetics parameters. *Rhizosphere*. 2024. Vol.29. P.1-13.
2. <https://www.sciencedirect.com/>.
3. Heydecker W., Higgins J., Gulliver R.L. Accelerated germination by osmotic seed treatment. *Nature*. 1973. Vol. 246. P. 42–44.
4. Kumar A., Droby S., White J.F., Singh V.K., Singh S.K., Zhimo V. Y., Biasi A. Endophytes and seed priming: agricultural applications and future prospects. *Microbial Endophytes: Functional Biology and Applications*. 2020. P. 107-124.
5. Johnson R., Puthur J.T. Seed priming as a cost effective technique for developing plants with cross tolerance to salinity stress. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2021. Vol. 162. P. 247-257.
6. Бабенко Л.М., Мошинець О.В., Щербатюк М.М., Косаківська І. В. Ацилгомосеринлактони бактеріального походження у біотехнології праймування рослин: досягнення і перспективи використання в аграрному виробництві. *Фізіологія рослин і генетика*. 2016. Том 48. № 6. С. 463-474.
7. Forti C., Shankar A., Singh A., Valestrazzi A., Prasad V., Macovei A. Hydropriming and biopriming improve *Medicago truncatula* seed germination and upregulate DNA repair and antioxidant genes. *Genes*. 2020. Vol. 11. №3. P. 242.
8. Ceritoglu M., Erman M. Effect of silicon priming treatments on germination and some agronomic traits in lentil. 3rd International African Conference on Current Studies. Abomey-Calavi, Benin. 2021. P. 436-444.
9. Tania S.S., Rhaman M.S., Hossain M. Hydro-priming and halo-priming improve seed germination, yield and yield contributing characters of Okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *Tropical Plant Research*. 2020. Vol.7. №1. P. 86-93.

10. Sen S.K., Chouhan D., Das D., Ghosh R., Mandal P. Improvisation of salinity stress response in mung bean through solid matrix priming with normal and nano-sized chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. Vol. 145. P. 108-123.
11. Nawaz H., Hussain N., Ahmed N., Rehman H., Alam J. Efficiency of seed bio-priming technique for healthy mung bean productivity under terminal drought stress. *Journal of Integrative Agriculture*. 2021. Vol. 20. №1. P. 87-99.
12. Melzi C.M., Boucelha L., Belbachir O., Djebbar R. Effects of hydropriming and chemical pretreatments of *Trigonella foenum-graecum* (L.) seeds on germination, antioxidant activities and growth. *Analele Universității din Oradea Seria Geografie XXVIII*. 2021. P. 165-175.
13. Ambreen H., Varisha K., Khyati P., Kumar S.S., Neeti S.M. Thermo-Priming Mediated Cellular Networks for Abiotic Stress Management in Plants. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. P. 1-29.
14. Tian Y., Gama-Arachchige N.S., Zhao M. Trends in Seed Priming Research in the Past 30 Years Based on Bibliometric Analysis. *Plants*. 2023. Vol. 12. P. 3483.
15. Pereira A.E.S., Oliviera H.C., Fraceto L.F., Santaella C. Nanotechnology potential in seed priming for sustainable agriculture. *Nanomaterials*. 2021. Vol. 11. №2. P.267.
16. Joshi-Paneri J., Sharma S., Guruprasad K.N., Kataria S. Enhancing the Yield Potential of Soybean after Magneto-Priming: Detailed Study on Its Relation to Underlying Physiological Processes. *Seeds*. 2023. Vol. 2. P. 60-84.
17. Garcia D., Zhao S., Arif S., Zhao Y., Ming L. C., Huang D. Seed priming technology as a key strategy to increase crop plant production under adverse environmental conditions. *Journal of Agriculture and Horticulture Research*. 2022. Vol.5. P. 27–46.
18. Ляшенко В.В., Сахно Т.В., Тригуб О.В., Семенов А.О. Фізіологічна реакція рослин сортів гречки посівної *Fagopyrum esculentum* Moench за умови різних режимів гідропраймінгу на ранніх етапах онтогенезу. *Вісник ПДАА*. 2022. № 2. С. 30–38.

19. Semenov A. O., Kozhushko H. M., Sakhno T. V. Influence of pre-planting UV irradiation on potato development and productivity. *Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*. 2018. Vol. 88. No. 1. P. 18–23.
20. Семенов А.О., Короткова І.В., Сахно Т.В., Маренич М.М. Використання грономічного потенціалу УФ-С випромінювання для підвищення передпосівних якостей насіння моркви. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2019. Вип. 1(101). С. 47-52.
21. Semenov A., Korotkova I., Sakhno T., Marenych M., Hanhur V., Liashenko V., & Kaminsky V. Effect of UV-C radiation on basic indices of growth process of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds in pre-sowing treatment. *Acta agriculturae Slovenica*. 2020. Vol. 116/1. P. 49–58.
22. Semenov A., Sakhno T., Semenova K. Influence of UV Radiation on Physical and Biological Properties of Rapeseed in Pre-Sowing Treatment. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2021. Vol. 10 (4).
23. Semenov A., Sakhno T., Hordieieva O., & Sakhno Y. Pre-sowing treatment of vetch hairy seeds, *vicia villosa* using ultraviolet irradiation. *Global Journal of Environmental Science and Management*. 2021. Vol.7 (4). P. 555–564.
24. Кірізі́й Д.А. Праймування та крос-адаптація рослин до абіотичних стресів: стан проблеми і перспективи. *Фізіологія рослин і генетика*. 2023. Вип. 55, № 2. С. 95—118.
25. Mondal S., Bose B. Impact of micronutrient seed priming on germination, growth, development, nutritional status and yield aspects of plants. *Journal of Plant Nutrition*. 2019. Vol.42. P. 2577–2599.
26. Janeczko A., Dziurka M., Ostrowska A., Biesaga-Koscielniak J., Koscielniak J. Improving vitamin content and nutritional value of legume yield through water and hormonal seed priming. *Legume Research*. 2015. Vol. 38. P. 185–193.
27. Khan F., Hussain S., Khan S., Geng M. Seed priming improved antioxidant defense system and alleviated Ni-induced adversities in rice seedlings under N, P, or K deprivation. *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 11. P. 1-12.

28. Ofoe R., Gunupuru L. R., Wang-Pruski G., Fofana B., Thomas R. H., Abbey L. Seed priming with pyroligneous acid mitigates aluminum stress, and promotes tomato seed germination and seedling growth. *Plant Stress*. 2022. Vol. 4. P. 1-13.
29. Guo Y., Li D., Liu L., Sun H., Zhu L., Zhang K., Zhao H., Zhang Y., Li A., Bai Z., Tian L., Dong H., Li C. Seed priming with melatonin promotes seed germination and seedling growth of Triticale hexaploide L. under PEG-6000 induced drought stress. *Frontiers in Plant Sciences*. 2022. Vol. 13. P. 1-17.
30. Hussain I., Ahmad R., Farooq M., Wahid A. Seed priming improves the performance of poor quality wheat seed. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2013. Vol. 15. № 6. P. 1343–1348.
31. Yang Z., Zhi P., Chang C. Priming seeds for the future: plant immune memory and application in crop protection. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. P. 1-11.
32. Sukifto R., Nulit R., Kong Y. C., Sidek N., Mahadi S. N., Mustafa N., Razak R. A. Enhancing germination and early seedling growth of malaysian indica rice (*Oryza sativa* L.) using hormonal priming with gibberellic acid (GA3). *AIMS Agriculture and Food*. 2020. Vol. 5. P. 649–665.
33. Sita, K., Kumar, V. Role of gamma amino butyric acid (GABA) against abiotic stress tolerance in legumes: a review. *Plant Physiology Reports*. 2020. Vol. 25. №4. P. 654-663.
34. Chakraborti S., Bera K., Sadhukhan S., Dutta P., Bio-priming of seeds: Plant stress management and its underlying cellular, biochemical and molecular mechanisms. *Plant Stress*. 2022. Vol. 3. P. 1-16.
35. Askari A., Ardakani M.R., Paknejad F., Hosseini Y. Effects of mycorrhizal symbiosis and seed priming on yield and water use efficiency of sesame under drought stress condition. *Scientia Horticulturae*. 2019. Vol. 257. P.1-12.
36. Cardarelli M., Woo S.L., Rouphael Y., Colla G. Seed treatments with microorganisms can have a biostimulant effect by influencing germination and seedling growth of crops. *Plants*. 2022. Vol. 11. № 3. P. 259.

37. Kumar P., Aeron A., Shaw N., Singh A., Bajpai V. K., Pant S. et al. Seed bio-priming with tri-species consortia of phosphate solubilizing rhizobacteria (PSR) and its effect on plant growth promotion. *Heliyon*. 2020. Vol.6. P. 1-8.
38. Cardarelli M., Woo S.L., Rouphael Y., Colla G. Seed Treatments with Microorganisms Can Have a Biostimulant Effect by Influencing Germination and Seedling Growth of Crops. *Plants (Basel)*. 2022. Vol. 11. №3. P.259.
39. Qiu Z., Egidi E., Liu H., Kaur S., Singh B.K. New frontiers in agriculture productivity: optimised microbial inoculants and in situ microbiome engineering. *Biotechnology Advances*. 2019. Vol. 37. P. 8.
40. Rajput R.S., Singh J., Singh P., Vaishnav A., Singh H.B. Influence of seed biopriming and vermiwash treatment on tomato plant's immunity and nutritional quality upon sclerotium rolfsii challenge inoculation. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2021. Vol. 40. P. 1493–1509.
41. Косаківська І.В., Золотарьова О.К., Войтенко Л.В. Досягнення науковців секції «Ріст і розвиток рослин, фізіологічно активні речовини» українського товариства фізіологів рослин (2018-2019). *Фізіологія рослин і генетика*. Київ. 2020. Т. 52. №4. С. 342-352.
42. Бабенко Л.М., Водка М.В., Акімов Ю.М. Н., Смирнов А.Е., Бабенко А.В., Косаковська І.В. Особливості ультраструктури та біохімічного складу клітин-мезофілів листка *Triticum spelta* L. у початковий період дії стресової температури. *Біологія клітин і тканин*. 2019. Т. 13. №1. С. 70-78.
43. Hussain S., Hussain S., Khaliq A., Ali S., Khan I. Physiological, biochemical, and molecular aspects of seed priming. In: Priming and pretreatment of seeds and seedlings. *Springer*. 2019. P. 43–62.
44. Khoso M. A., Wagan S., Alam I., Hussain A., Ali Q., Saha S., Poudel T. R., Manghwar H., Liu F. Impact of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on plant nutrition and root characteristics: Current perspective. *Plant Stress*. 2024. Vol. 11. P. 1-15.

45. Pandey S., Gupta S., Ramawat N. Unravelling the potential of microbes isolated from rhizospheric soil of chickpea (*Cicer arietinum*) as plant growth promoter. *3 Biotech.* 2019. Vol. 9. №7. P. 277.
46. Mabrouk Y., Hemissi I., Salem I.B., Mejri S., Saidi M., Belhadj O. Potential of Rhizobia in Improving Nitrogen Fixation and Yields of Legumes. *Symbiosis.* 2018. P. 1-15.
47. Basu A., Prasad P., Das S.N., Kalam S., Sayyed R.Z., Reddy M.S., El Enshasy H. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: Recent developments, constraints, and prospects. *Sustainability.* 2021. Vol. 13. P. 1-20.
48. Pirttilä A.M., Mohammad Parast Tabas H., Baruah N., Koskimäki J.J. Biofertilizers and biocontrol agents for agriculture: How to identify and develop new potent microbial strains and traits. *Microorganisms.* 2021. Vol. 9. № 4. P.1-7.
49. Chieb M., Gachomo E.W. The role of plant growth promoting rhizobacteria in plant drought stress responses. *BMC Plant Biol.* Vol. 23. №1. P.407.
50. Singh S., Singh U.B., Malviya D., Paul S., Sahu P.K., Trivedi M. et al. Seed biopriming with microbial inoculant triggers local and systemic defense responses against *Rhizoctonia solani* causing banded leaf and sheath blight in maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2020. Vol. 17. P.1396.
51. Liu H., Qiu Z., Ye J., Verma J.P., Li J., Singh B.K. Effective colonisation by a bacterial synthetic community promotes plant growth and alters soil microbial community. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment.* 2022. Vol.1. P. 30–42.
52. Rasmann S., De Vos M., Casteel C.L., Tian D., Halitschke R., Sun J.Y., Agrawal A.A., Felton G.W., Jander G. Herbivory in the previous generation primes plants for enhanced insect resistance. *Plant Physiol.* 2012. Vol. 158. P. 854-863.
53. Mohanavelu A., Naganna S.R., Al-Ansari N. Irrigation induced salinity and sodicity hazards on soil and groundwater: an overview of its causes, impacts and mitigation strategies. *Agriculture.* 2021. Vol. 11. P. 983.

54. Özyazici M.A., Acikbas S. The Effect of Seed Priming Applications on Germination Parameters of Red Clover (*Trifolium pratense* L.). 3rd International African Conference on Current Studies, Abomey-Calavi, Benin. 2021. P. 404-412.
55. Al-Yasi H., Attia H., Alamer K., Hassan F., Ali E., Elshazly S., Siddique K.H.M., Hessini K. Impact of drought on growth, photosynthesis, osmotic adjustment, and cell wall elasticity in Damask rose. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2020. Vol 150. P. 133-139.
56. Trivedi P., Leach J.E., Tringe S.G., Sa T., Singh B.K. Plant-microbiome interactions: from community assembly to plant health. *Nature Reviews. Microbiology*. 2020. Vol. 18. P. 607–621.
57. Ilangumaran G., Schwinghamer T.D., Smit D.L. Rhizobacteria from root nodules of an indigenous legume enhance salinity stress tolerance in soybean. *Front. Sustain. Food Syst.* 2021. Vol. 4. P. 1-10.
58. Meng N., Yu B.J., Guo J.S. Ameliorative effects of inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* on *Glycine max* and *Glycine soja* seedlings under salt stress. *Plant Growth Regul.* 2016. Vol. 80. P.137–147.
59. Hasanuzzaman M., Parvin K., Anee T.I., Awal A., Masud Ch. Salt Stress Responses and Tolerance in Soybean. *Plant Stress Physiology – Perspectives in Agriculture*. 2022. P. 1-36.
60. Hashem A., Abd Allah E., Alqarawi A.A., Wirth S., Egamberdieva D. Comparing symbiotic performance and physiological responses of two soybean cultivars to arbuscular mycorrhizal fungi under salt stress. *Biol. Sci.* 2019. P. 38–48.
61. Mirshekari B. Seed priming with iron and boron enhances germination and yield of dill (*Anethumgraveolens*). *Turk J Agric For.* 2012. Vol.36. P. 27-33.
62. Von Beesten F., Miersch M., Recknagel J. Inoculation of soybean seed. *Legumes Translated*. 2019. P. 1-4.
63. Hasan M. M., Ali M. A., Soliman M. H., Alqarawi A. A., Abd Allah E. F., Fang X.-W. Insights into 28-homobrassinolide (HBR)- mediated redox homeostasis,

- AsA–GSH cycle, and methylglyoxal detoxification in soybean under drought-induced oxidative stress. *J. Plant Interact.* 2020. Vol. 15. P. 371-385.
64. Gianinazzi S., Hannes S., Barea J.M., Haselwandter K. Mycorrhizal Technology in agriculture: from genes to bioproducts. Bazel. *Springer.* 2002. P.296.
65. Soedarsono J. W., Yusnawan E., Nuringtyas T. R. Plant growth-promoting bacteria improve soybean (*Glycine max* L. Merrill) yield in field trials. *Journal of Agricultural Science.* 2020. Vol. 12. №3. P. 222-230.
66. Khan M.A., Asaf S., Khan A.L., Jan R., Kang S.M., Kim K.M., Lee I.J. Thermotolerance effect of plant growth-promoting *Bacillus cereus* SA1 on soybean during heat stress. *BMC Microbiol.* 2020. Vol. 20. № 175. P. 1-14.
67. Nouairi I., Jalali K., Zribi F., Barhoumi F., Zribi K., Mhadhbi H. Seed priming with calcium chloride improves the photosynthesis performance of faba bean plants subjected to cadmium stress. *Photosynthetica.* 2019. Vol. 57. P.438–445.
68. Zeffa D.M., Fantin L.H., Koltun A., de Oliveira A.L.M., Nunes M.P.B.A., Canteri M.G., Gonçalves L.S.A. Effects of plant growth-promoting rhizobacteria on co-inoculation with *Bradyrhizobium* in soybean crop: A meta-analysis of studies from 1987 to 2018. *PeerJ.* 2020. Vol. 8. P. 1-19.
69. Miladinov Z., Maksimovic I., Balesevic-Tubic S., Djukic V., Canak P., Miladinovic J., Djordjevic V. Priming seed mitigates the effects of saline stress in soybean seedlings. *Legume Research.* 2020. Vol. 43. №2. P. 263-267.
70. Салеба Л. В., Сарібекова Д. Г., Мелехова Н. А. Дослідження переробки сої методом форпресування-екстракція. Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. Хмельницький. 2022. №2. С. 188-193.
71. Lewandowska S., Michalak I. Effect of algal extracts on germination ability of different varieties of soybean. Seed and seedlings. XIV scientific and technical seminar. Czech University of Life Sciences Prague. *Proceedings.* 2019. P. 84–90.
72. Michalak I., Lewandowska S., Detyna J., Olsztyńska-Janus S., Bujak H., Pacholska P. The effect of macroalgal extracts and near infrared radiation on

- germination of soybean seedlings: preliminary research results. *Open Chem.* 2018. Vol. 16. №1. P. 1066–76.
73. Заболотний Г. М., Мазур В. А., Циганська О. І., Дідур І. М., Циганський В. І., Панцирева Г. В. Агробіологічні основи вирощування сої та шляхи максимальної реалізації її продуктивності. Вінниця. 2020. С. 19-22.
74. Kovačević J., Bechtold T., Pham T. Plant-Based Proteins and Their Modification and Processing for Vegan Cheese Production. *Macromol.* 2024. Vol. 4. P. 23-41.
75. Toldrá F., Reig M., Mora L. Management of meat by- and co-products for an improved meat processing sustainability. *Meat Sci.* 2021. Vol. 181. P. 1-9.
76. Guimarães R.M., Idab E.I., Falcão H.G, Matos de Rezende T.A., Silveira J. S., Alves C. C. F., Pereira da Silva M.A, Egea M.B. Evaluating technological quality of okara flours obtained by different drying processes. *LWT - Food Science and Technology.* 2020. Vol. 123. P. 1-8.
77. World Agricultural Production. Soybean Production by Country 2022-2023. <http://www.worldagriculturalproduction.com/crops/soybean.aspx>.
78. Rahman M.M., Mat K., Ishigaki G., Akashi R. A review of okara (soybean curd residue) utilization as animal feed: Nutritive value and animal performance aspects. *Animal Science Journal.* 2021. Vol. 92. P 1-12.
79. Abbasi J. Soy scaffoldings poised to make cultured meat more affordable. *JAMA.* 2020. Vol. 323. P. 1764.
80. Yeom W. W., Kim H. J., Lee K.R., Cho H. S., Kim J. Y. Increased Production of  $\alpha$ -Linolenic Acid in Soybean Seeds by Overexpression of Lesquerella FAD3-1. 2019. Vol.10.
81. Barnard N.D., Kahleova H., Holtz D.N., Del Aguila F., Neola M., Crosby L.M., Holubkov R. The Women’s Study for the Alleviation of Vasomotor Symptoms (WAVS): A randomized, controlled trial of a plant-based diet and whole soybeans for postmenopausal women. *Menopause.* 2021. Vol. 28. P. 1150–1156.
82. Bittencourt G.A., Vandenberghe L.P.D.S., Valladares-Diestra K., Herrmann L.W., Mello A.F.M.D., Vásquez Z.S., Karp S.G., Soccol C.R. Soybean hulls as

- carbohydrate feedstock for medium to high-value biomolecule production in biorefineries. *Bioresour. Technol.* 2021. Vol. 339. P. 125594.
83. Jensen E.S., Rodriguez C., Carlsson G., Englund J.E., Flöhr A., Makowski D., Jensen E.S. Grain legume-cereal intercropping enhances the use of soil-derived and biologically fixed nitrogen in temperate agroecosystems. A meta-analysis. *European Journal of Agronomy.* 2020. Vol. 118. P. 1-11.
84. Ceritoglu M., Ceritoglu F., Erman M., Bektas H. Root system variation of pulse crops at early vegetative stage. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca.* 2020. Vol. 48. №4. P. 2182-2197.
85. Gogoi N., Baruah K.K., Meena R.S. Grain legumes: Impact on soil health and agroecosystem. Legumes for Soil Health and Sustainable Management. *Springer.* 2018. P. 511-539.
86. Chimonyo V.G.P., Snapp S.S., Chikowo R. Grain legumes increase yield stability in maize based cropping systems. *Crop Science.* 2019. Vol. 59. №3. P. 1222-1235.
87. Miljaković D., Marinković J., Tamindžić G., Đorđević V., Tintor B., Milošević D., Ignjatov M., Nikolić Z. Bio-Priming of Soybean with *Bradyrhizobium japonicum* and *Bacillus megaterium*: Strategy to Improve Seed Germination and the Initial Seedling Growth. *Plants.* 2022. Vol. 11. № 15. P. 1-15.
88. Ha-Tran D.M., Nguyen T.T.M., Hung S-H., Huang E., Huang C-C. Roles of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in stimulating salinity stress defense in plants. *International J Molecul Sci.* 2021. Vol.22. № 6. P. 1-39.
89. Mahmood A., Turgay O.A., Farooq M., Hayat R., Seed biopriming with plant growth promoting rhizobacteria. *FEMS Microbiology Ecology.* 2016. Vol. 92. №8. P. 1-14.
90. Yuan K., Reckling M., Ramirez M.D.A., Djedidi S., Fukuhara I., Ohyama T., Yokoyama T., Bellingrath-Kimura S.D., Halwani M., Egamberdieva D. Characterization of rhizobia for the improvement of soybean cultivation at cold conditions in Central Europe. *Microbes Environ.* 2020. Vol. 35. № 1. P. 1-13.

91. Fiodor A., Ajijah A., Dziewit L., Pranaw K. Biopriming of seed with plant growth-promoting bacteria for improved germination and seedling growth. *Frontiers in Microbiology*. 2023. Vol. 14. P. 1-15.
92. Bitire T. D., Abberton M., Oyatomi O., Babalola O. O. Effect of bradyrhizobium japonicum strains and inorganic nitrogen fertilizer on the growth and yield of bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) verdc) accessions. *Front Sustain Food Front*. 2022. Vol. 6. P. 1-12.
93. Кукол К. П., Воробей Н. А., Коць С. Я. Чутливість чистих культур *Bradyrhizobium japonicum* до фунгіцидів. *Сільськогосподарська мікробіологія*. Київ. 2019. Вип. 30. С. 20-31.
94. Miladinov Z., Maksimovic I., Balesevic-Tubic S., Djukic V., Canak P., Miladinovic J., Djordjevic V. Priming seed mitigates the effects of saline stress in soybean seedlings. *Legume Research*. 2020. Vol. 43. № 2. P. 263-267.
95. Maru K. Kering and Bo Zhang. Effect of Priming and Seed Size on Germination and Emergence of Six Food-Type Soybean Varieties. *International Journal of Agronomy*. 2015. P. 1-6.
96. Dai L. Y., Zhu H. D., Yin K. D., Du J. D., Zhang Y. X., Seed priming mitigates the effects of saline-alkali stress in soybean seedlings. *Chilean journal of agricultural research*. 2017. Vol. 77. № 2. P. 8-125.
97. Shete D.C., Devkule S.N., Autade A.D. Effect of Seed Priming on Yield of Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill.]. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2018. Vol.6. P. 109-111.
98. Mishra P., Prabha D. Influence of Halopriming on Different physiological Attributes of Soyabean Seed under Salinity Stress Condition. *Legume research*. 2020. №6. P. 2963-2967.
99. Miladinov Z. J., Balešević-Tubić S. N., Đorđević V. B., Đukić V. H., Ilić A. D., Čobanović L. M. Optimal time of soybean seed priming and primer effect under salt stress conditions. *Journal of agricultural sciences*. Belgrade, 2015. Vol. 60. № 2. P. 109 – 117.

100. Horobets M., Chaika T., Korotkova I., Pysarenko P., Mishchenko O., Shevnikov M., Lotysh I. Influence of growth stimulants on photosynthetic activity of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) crops. *International Journal of Botany Studies*. 2021. Vol. 6. № 2. P. 340–345.
101. Короткова І. В., Чайка Т. О. Роль гумінових препаратів та їх сумішей з мінеральними добривами в технологіях вирощування пшениці озимої. Екологоорієнтовані підходи відновлення техногенно забруднених територій і створення сталих екосистем : колективна монографія ; за заг. ред. Т. О. Чайки. Полтава : ПП «Аструя». 2022. С. 279–322.
102. Короткова І. В., Горобець М. В., Чайка Т. О. Вплив стимуляторів росту на продуктивність сортів ячменю ярого. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2021. № 2. С. 20–30.
103. Berbara R.L.L., García A.C. Humic Substances and Plant Defense Metabolism. In *Physiological Mechanisms and Adaptation Strategies in Plants under Changing Environment*. Springer. 2014. Vol. P. 298–319.
104. Mahendar K. S., Xibai Z., Shiming S., Yanan W., Lingyu B., Yang Z., Tao L. and Xiaojia Z. The Effect of Fulvic Acids Derived from Different Materials on Changing Properties of Albic Black Soil in the Northeast Plain of China. *Molecules*. 2019. Vol. 24. №8. P. 1-12.
105. Moshtaghi-Khavarani A., Khomari S., Zare N. Soybean seed germination and seedling growth in response to deterioration and priming: effect of seed size. *Plant Breeding and Seed Science*. 2014. Vol. 70. P. 55-67.
106. ДСТУ 4138-2002 «Насіння сільськогосподарських культур». Методи визначення якості. [Чинний від 01.01.2004]. Київ.
107. Fessel S. A., Vieira R. D., Cruz M. C. P. D., Paula R. C. D., Panobianco M. Electrical conductivity testing of corn seeds as influenced by temperature and period of storage. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2006. Vol. 41 № 10. P. 1551–1559.

108. Silva E. C., Menechini W., Galvão C. S., Batista de Oliveira L.A., Ferreira N. C. F., Silva L. S. Adequacy of electrical conductivity test for lentil seeds. *Scientia Agraria Paranaensis*. 2020. Vol. 19. № 3. P. 307-311.
109. ДСТУ ISO 3696:2003 Вода для застосування в лабораторіях. Вимоги та методи перевірки.
110. TeKrony D. M. Seed Vigor Testing. *Journal of Seed Technology*. 1995. Vol. 8. P. 55–60.
111. Feseha A., Gholap A.V. Determination of chlorophylls and carotenes content in some vegetables of ethiopiaby using uv-vis spectroscopy. *Annals. Food Science and Technology*. 2020. Vol. 21. № 4. P. 841-846.
112. Wellburn A. R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. *Journal of Plant Physiology*. 1994. Vol. 144. № 3. P. 307-313.
113. Котенко С.С., Ратушний В.В. Технічні засоби для механізованої обробки насіння біопрепаратами. Овочівництво і баштанництво: історичні аспекти, сучасний стан, проблеми і перспективи розвитку: зб. матеріалів III Міжнар. наук.-практ. конф. с.Крути, Чернігівська область. 2017 р. № 1. Крути, 2017. С. 162-170.
114. Murbach T. S., Glávits R., Endres J.R., Clewell A. E., Hirka G., Vértesi A., Béres E., and Szakonyiné I. P. A toxicological evaluation of a fulvic and humic acids preparation. *Toxicology Reports*. 2020. Vol. 7. P. 1242–1254.