

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА
БІОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра фізіології та екології рослин

КВАЛІФІКАЦІЙНА (МАГІСТЕРСЬКА) РОБОТА
на тему: **ОКСИДАНТНІ РЕАКЦІЇ РОСЛИН SALIX VIMINALIS L.**
ЗА УМОВ ЗАСОЛЕННЯ

Здобувачки II курсу
другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності 091 Біологія та біохімія
освітньо-професійної програми “Фізіологія рослин”

Римської Кароліни Андріївни

Керівник: доц. кафедри фізіології та екології рослин,
канд. біол. н. **О. І. Пацула**

Рецензент: доц. кафедри мікробіології,
канд. біол. н. **Т. Б. Перетятко**

Зміст

ВСТУП	2
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	4
1.1 Енергетичні Рослини.....	4
1.1.1 Верба (<i>Salix spp.</i>).....	6
1.1.2 Тополя (<i>Populus spp.</i>).....	8
1.1.3 Міскантус (<i>Miscanthus spp.</i>).....	9
1.2 Особливості <i>Salix viminalis L.</i>	11
1.3. Вплив високих концентрацій солей на родючість ґрунтів.....	12
1.3 Використання рослин для фіторе mediaції.....	16
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	23
2.1 Об'єкт досліджень.....	23
2.2. Технологія вирощування рослинного матеріалу.....	23
2.3. Визначення площі листової пластини.....	23
2.4. Визначення вмісту пігментів.....	24
2.5. Визначення вмісту проліну.....	25
2.6. Визначення активності процесів перекисного окиснення ліпідів в рослинних тканинах за утворенням малонового диальдегіду при дії NaCl засолення.....	26
2.7. Визначення впливу засолення на вміст аскорбінової кислоти в рослинах верби прутувидної.....	26
2.8. Визначення вмісту фенольних сполук в рослинах верби прутувидної.....	27
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	28
3.1. Вплив засолення на площу листової пластини рослини Верби прутувидної <i>Salix viminalis L.</i>	28
3.2. Вплив засолення на вміст пігментів рослини Верби прутувидної <i>Salix viminalis L.</i>	29
3.3. Вплив NaCl засолення на вміст проліну в листках рослини Верби прутувидної <i>Salix viminalis L.</i>	32
3.4. Вплив NaCl засолення на активність процесів перекисного окиснення ліпідів в 4 тижневих рослинних тканинах верби.....	34
3.5. Вплив засолення на вміст аскорбінової кислоти в рослинах верби прутувидної.....	35
3.7. Вплив засолення на вміст фенольних сполук в 4 тижневих живцях рослин верби прутувидної.....	37
ВИСНОВКИ:	39
ЛІТЕРАТУРА:	40
ДОДАТКИ	48
Додаток 1.....	48
Додаток 2.....	49

ВСТУП

У сучасному світі Україна є однією із країн з багатими природними ресурсами, зокрема мінерально-сировинними. Однак, варто враховувати, що наявні ресурси, видобувані із надр землі, мають тенденцію до вичерпання. Така ситуація вимагає розвитку альтернативних джерел енергії, які були б не лише екологічно чистими, а й ефективними для забезпечення енергетичних потреб держави.

Станом на 2023 рік Україна зазнає складних перепон у сферах економіки та енергетики, зокрема через обмеженість традиційних джерел енергії. Саме тому використання альтернативних джерел, які мають потенціал відновлення, стає пріоритетним напрямком у розвитку держави.

Останніми роками в енергетичній політиці України спостерігаються позитивні зрушення в напрямку використання біомаси як альтернативного джерела енергії. Це сприяє не лише формуванню внутрішнього ринку, а й стимулює конкурентні відносини між компаніями, що веде до покращення якості сировини та розвитку нових, більш продуктивних видів енергетичних рослин.

Одним із найефективніших джерел твердого біопалива є верба. Останні дослідження показують, що нові гібриди прутovidної верби забезпечують значно кращі показники продуктивності біомаси, врожайності та акумуляції сонячної енергії, порівняно з наявними видами та іншими енергетичними рослинами.

У контексті стрімкого розвитку альтернативних джерел енергії, українські науковці з Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН активно працюють над розробкою технологій вирощування сировини прутovidної верби для виробництва біопалива, адаптованих до ґрунтових та кліматичних умов України.

Варто зазначити, що світовий досвід підтверджує важливість використання альтернативних джерел енергії. Зокрема, країни, які активно використовують біоресурси та інші відновлювані джерела енергії, вже сьогодні забезпечують значну частину своїх потреб у енергії, що відображається на показниках енергетичної незалежності та екологічної безпеки.

Тому метою нашої роботи було дослідити активність антиоксидантної системи рослин верби прутувидної в умовах сольового стресу.

Для досягнення мети було поставлено конкретні *завдання*:

1. Визначити вплив засолення на площу листової пластинки.
2. Визначити кількісний вміст фотосинтетичних пігментів у листках верби прутувидної за дії NaCl засолення.
3. Визначити вміст проліну у листках верби прутувидної за дії NaCl засолення.
4. Визначення активності процесів перекисного окиснення ліпідів в рослинних тканинах за утворенням малонового діальдегіду при дії NaCl засолення.
5. Визначити вміст аскорбінової кислоти у листках верби прутувидної за дії NaCl засолення.
6. Визначити вміст фенольних сполук у листках верби прутувидної за дії NaCl засолення.

Об'єкт дослідження – оксидативні реакції рослин за дії сольового стресу.

Предмет дослідження – антиоксидантна система рослин *Salix viminalis L.* за умов NaCl засолення.

Для досягнення поставленої в роботі мети використано такі методи дослідження: біохімічний, спектрофотометричний, морфометричний.

Результати магістерської роботи були представлені на конференціях і опубліковані у тезах доповідей конференцій [41; 42].

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Енергетичні Рослини

З кожним роком існування людство в рази збільшує свої запити на затрачання корисних копалин для забезпечення комфорту життєдіяльності чим забруднює середовище свого існування та спустошує місця добування руд, нафти, природного газу та ін. Окрім того, що вміст корисних копалин у земній корі є вичерпним, землі на яких є покинуті шахти та родовища важко відновити та зробити придатними для рослин. Для заміни певних речовин та покращення екологічної ситуації використовують енергетичні рослинні культури.

Енергетичні культури – це рослини, які спеціально вирощуються для використання безпосередньо в якості палива або для виробництва біопалива. Енергетичні культури розрізняють за наступними категоріями:

- цикл вирощування – однорічні (ріпак, соняшник) та багаторічні (верба, тополя);
- тип – деревоподібні (верба, тополя), трав'янисті (міскантус, просо прутувидне);
- характеристики й, відповідно, отримуваний кінцевий продукт – олійні (ріпак/соняшник на біодизель), крохмале- та цукрововмісні (цукровий буряк/кукурудза на біоетанол), лігноцелюлозні (верба/тополя для безпосереднього виробництва теплової та електричної енергії, виробництва твердих біопалив або отримання рідких біопалив 2-го покоління);
- «призначення» – класичні культури, тобто з самого початку призначені виключно для енергетичних цілей (міскантус, двокісточник тростиноподібний) та звичайні сільськогосподарські культури, що вирощуються як для отримання харчових продуктів, так і з метою виробництва біопалив (ріпак на біодизель, цукровий буряк на біоетанол, кукурудза на біогаз).

Енергетичні культури є одним з важливих та провідних напрямків розвитку біоенергетичного сектора ЄС. Близько одної третьої мети Євросоюзу по енергоспоживанню з біомаси у 2020 р. може бути покрито за рахунок енергетичних культур, що складе 45 млн. т н.е./рік. На сьогодні в країнах Євросоюзу 13,2 млн. га земель є доступними для вирощування енергокультур; до 2030 р. цей показник може вирости до 26,2 млн. га.

В Україні також є кілька компаній, що займаються вирощуванням енергетичних культур на комерційному рівні. За оцінками Біоенергетичної асоціації України на території нашої держави є 3-4 млн. га сільськогосподарських земель, що не використовуються, які можна задіяти для вирощування енергетичних культур. Рекомендується для цього напрямку використовувати до 2 млн. га, розділивши їх між кукурудзою (1 млн. га), вербою (0,5 млн. га), тополею (0,2 млн. га) і міскантусом (0,3 млн. га). Реалізація такого сценарію дасть можливість щорічно отримувати близько 3,3 млрд. м³ біометану з силосу кукурудзи і 6,3 млн. т у.п. за рахунок біомаси верби, тополі й міскантусу. Згідно концепції БАУ, загальна площа для вирощування енергетичних культур в Україні може скласти до 1 млн. га в 2030р.

Вирощування всіх енергетичних культур можна умовно розбити на 3 етапи:

1. підготовка ґрунту;
2. безпосередньо вирощування (посадка, догляд за плантацією);
3. збір врожаю (заключною операцією є ліквідація плантації після закінчення строку її існування).

В залежності від виду енергетичної культури процес вирощування має свої характерні особливості. Так, наприклад, міскантус висаджується кореневищами, тополя і верба – саджанцями, ріпак, соняшник, льон – насінням. Розглянемо повний цикл вирощування на прикладі кількох енергетичних культур, найбільш придатних для умов України.

1.1.1 Верба (*Salix spp.*)

Верба прутувидна – деревоподібна культура, що дозволяє створювати високопродуктивні плантації з тривалим терміном існування. Представляє собою кущ або кущоподібне дерево висотою до 6-8 м. Зазвичай верба прутувидна є густозростаючою, має велику кількість пагонів, якими досить легко розмножується. Культура характеризується високими показниками приросту по довжині – до 3-5 см на день, в середньому 1,5 м в рік. Деревина верби в порівнянні з більшістю інших деревних порід відносно легка.

Позитивною властивістю верби є стійкість до морозів, до шкідників і хвороб. Вона може рости на ґрунтах різного типу, на заболочених і непродуктивних (таких, що потребують рекультивації) землях. Звичайно, на землях низької якості культура зростає не так швидко як в сприятливих умовах, однак інтенсивному росту допомагає добре розвинена коренева система. Особливістю верби є те, що вона може випаровувати з ґрунту велику кількість води. Таким шляхом можна вирішити проблему осушення ґрунтів з великим обсягом підземних вод або захистити землю від заболочування. В період інтенсивної вегетації плантація верби може випаровувати 300-800 тис. л/га в залежності від щільності посадки. Крім того, культура здатна абсорбувати великі кількості металевих мікроелементів, що призводить до очищення забруднених ґрунтів і стічних вод (при поливанні плантації стічними водами). Посадку верби доцільно проводити ранньою весною, відразу після морозів, оскільки в цей період вологість ґрунту є найбільш сприятливою. Посадка може виконуватися вручну або механізовано. При ручній посадці використовують саджанці завдовжки близько 20 см, при машинної – саджанці 1,5-2 м, які ріжуться в процесі посадки машинним способом на черешки 18-20 см. Ґрунт має бути відповідним чином підготовлений – зораний, прокультивований і очищений від бур'янів. Щільність посадки становить 15-20 тис. шт./га. У перші місяці особливу увагу слід приділяти контролю бур'янів, поки кущі культури ще не зімкнуться і не закриють бур'яни.

Удобрення плантацій прутювидної верби слід проводити, виходячи з обсягу виносу поживних речовин культурою і запасу поживних речовин у ґрунті. Приміром, в 10 т сухої деревини верби міститься 46-49 кг N, 12-15 кг P, 22-29 кг K, 40 кг Ca, 10 кг Mg. При 3- річному циклі збору врожаю і продуктивності 10 т сухої маси з гектара на рік можна орієнтуватися на наступні норми внесення добрив: азот 150 кг/га, фосфор 45 кг/га, калій 90 кг/га, кальцій 120 кг/га, магній 30 кг/га (один раз на три роки після зрізання). На бідних ґрунтах норма внесення добрив повинна бути збільшена на 30-40% до досягнення середніх показників родючості ґрунту.

У перший рік азотні добрива вносити не рекомендують у зв'язку з необхідністю розвитку кореневої системи рослин. У наступні роки його доцільно вносити частинами в період початку вегетації та інтенсивного росту.

З листям за 3-річний період в ґрунт потрапляє 20 кг азоту, тому після збору врожаю доцільно проводити культивуацію міжрядь.

Після першого року росту культуру необхідно зрізати на висоті до 5 см від землі для стимулювання процесу кущіння (деякі дослідження стверджують, що продуктивність насаджень без проведення технічного зрізу вище на момент збору врожаю, також не рекомендують проводити технічний зріз при слабкому зростанні рослин і великій кількості бур'янів).

Збирають вербу після закінчення вегетації, тобто з жовтня-листопада по березень-квітень, але переважно в зимовий період (після опадання листя). З енергетичної точки зору найкращим є врожай культури при 3-річному і більше циклі збору. До цього моменту діаметр стебел рослин становить близько 28-31 мм, висота – 5-6 м. Збір врожаю виконується звичайним силосозбиральним комбайном із жаткою для верби. З однієї плантації можна збирати врожай 7-8 разів (при 3-річному циклі), після чого необхідно провести рекультивуацію.

Ліквідація плантації являє собою відносно просту операцію через неглибоку кореневу систему культури. Навесні при висоті пагонів близько 20-30 см необхідно внести гербіцид, зрізати гілки і припахати. Восени землю вже можна використовувати для вирощування інших культур.

За даними фахівців Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України для умов України перспективною є верба – *Salix*, яка дає можливість створення сортів і гібридів для різних напрямів використання. Як правило, для енергетичних цілей використовують вербу виду *Salix viminalis L.* та її похідні (Гелетуха, 2014).

1.1.2 Тополя (*Populus spp.*)

Тополя як і верба відноситься до багаторічних деревоподібних енергетичних культур. Вона вирощується в подібних з вербою умовах за схожими технологіями. Тополя стійка до шкідників, може рости на бідних ґрунтах і забруднених землях, однак вона менш морозостійка, ніж верба, тому, як правило, не вирощується в північноєвропейських країнах. Культура практично не вимагає застосування пестицидів і добрив. З плантації енергетичної тополі можна отримувати біомасу в обсязі 8-15 сух. т/га в рік, а на хороших ґрунтах нові клони можуть давати до 16-20 сух. т/га в рік.

Енергетичну тополю можна вирощувати за трьома технологіями: плантації з (I) дуже швидким, (II) швидким і (III) середнім оборотом. Вони різняться кількістю насаджень на гектар і частотою збору врожаю. У першому випадку щільність посадки – 10-15 тис. рослин на га, врожай збирають інтервалом в 1 рік, діаметр стовбура на рівні зрізу становить 2-3 см. На плантаціях з швидким оборотом на гектар висаджують 5-10 тис. рослин, врожай збирають кожні 2-3 роки, діаметр стовбура на рівні зрізу досягає 10-12 см. В третьому випадку щільність посадки становить 1,3-3 тис. шт./га, збір врожаю виконують з інтервалом в 5-6 років, діаметр стовбура (на рівні близько 1,3 м) – до 15 см.

На плантаціях з дуже швидким і швидким оборотом врожай можна збирати комбайном зі спеціальною жаткою. Для плантацій із середнім оборотом можна адаптувати звичайне лісогосподарське обладнання невеликої потужності (через порівняно невеликий діаметр стовбура тополі). Досвід Європи показує, що, як правило, більша продуктивність спостерігається на плантаціях з середнім оборотом (технологія III).

Термін існування плантації енергетичної тополі – 15-20 років. При 3-річному циклі вирощування за цей період можна зібрати 5-7 врожаїв. Ліквідація плантації є більше трудомісткою, ніж у випадку верби, оскільки тополя часто формує великий стрижневий корінь. Добрива можуть вноситися за необхідності для стимулювання зростання. Наприклад, в Іспанії та Італії практикують внесення комбінації мінеральних і органічних добрив до посадки, що дозволяє забезпечити повільне і поступове надходження поживних речовин. Якщо стоїть завдання досягти підвищеної продуктивності плантації, то для стимулювання росту нових пагонів незабаром після збору врожаю в міжряддя періодично вносять 60-80 кг N/га.

Існують різні види тополі, серед яких для умов України фахівці рекомендують тополю Торопогрицького (гібрид тополі євроамериканської I-214 і пірамідальної). Цей клон характеризується високою продуктивністю і стійкістю до несприятливих умов. У звичайних умовах середній приріст тополі Торопогрицького становить 14 м³ /га на рік, а при високій зволоженості і трофності 12 ґрунту цей показник може вирости майже до 37 м³ /га на рік.

1.1.3 Міскантус (*Miscanthus spp.*)

Міскантус являє собою багаторічну кореневищну траву, яка походить з Азії. Після одноразової посадки культуру можна збирати щорічно протягом 15 і більше років з середньою врожайністю порядку 10 сух. т/га. Міскантус має добре розвинену кореневу систему (2,5 м углиб), характеризується швидким ростом і

непоганою стійкістю до низьких температур 13. Культура має відносно невелику потребу у воді, відповідну річній кількості опадів на рівні 600-700 мм. Для вирощування підходять ґрунти середньої щільності з низьким рівнем ґрунтових вод.

Міскантус висаджують навесні в березні-квітні. Ґрунт має бути відповідним чином підготовлений – очищений від бур'янів і зораний для усунення ущільнень. В Європі Міскантус не росте при температурі нижче 6 °С. Проте це порогове значення значно нижче, ніж, наприклад, для кукурудзи, а отже сезон зростання - більш тривалий. Небезпеку становлять заморозки в період пізньої весни, в результаті яких гинуть пагони і скорочується загальний період росту культури. Зима: культура готова до збирання Весна: поява приросту Літо: культура досягає максимальної висоти Осінь: інтенсивна сушка 16 використовується два методи розведення міскантусу – вегетативним розмноженням і діленням кореневищ. Останній метод використовується частіше і є більш економічним. Кореневища висаджують на глибину 5-15 см з урахуванням необхідного простору для їх подальшого розростання. Щільність посадки становить 10-15 (і навіть більше) тисяч кореневищ на гектар. Посадка може виконуватися як звичайною сільськогосподарською технікою (наприклад, напівавтоматичною машиною для посадки картоплі або агрегатом для розкидання гною), так і спеціально розробленими посадочними машинами.

В процесі росту культура потребує невеликої кількості добрив (50-70 кг N /га в рік) завдяки своїй здатності ефективно використовувати поживні речовини. Враховуючи високу стійкість міскантусу до хвороб, хімічний захист не потрібен. Однак необхідно ретельно стежити за видаленням бур'янів в початковій фазі росту плантації, так як їх наявність може привести до істотного зниження врожайності.

До кінця серпня першого року рослина досягає висоти 1-2 м з діаметром стебла близько 10 мм, у липні починається процес сушки, а з початком зимового

періоду можна проводити збір врожаю. У перший рік після посадки міскантус не збирають зважаючи на низьку врожайності (до 8 сух. т/га). У другій рік рослина досягає своєї максимальної висоти (2,5-3,5 м), і врожайність піднімається до 10 сух. т/га. На третій рік урожай культури становить близько 10-15 (максимум 20) тонн сухої речовини на гектар. Міскантус чутливий до якості ґрунту, тому на родючих ґрунтах урожай може доходити до 30 сух. т/га в рік, а на бідних – ледь досягати 10 сух. т/га/рік. Проте зростання продуктивності плантації викликає підвищену потребу у воді. Вид Міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus*) може споживати до 900 мм/рік. Після 10-го року плантації продуктивність починає систематично знижуватися.

Для збирання міскантусу використовують важкі роторні косарки та рулонні прес-підбирачі або самохідні кормозбиральні комбайни. При цьому, враховуючи товщину і твердість стебел, рекомендується застосовувати спеціальні машини, пристосовані до важких умов експлуатації.

1.2 Особливості *Salix viminalis* L.

Верба прутовидна – деревоподібна культура, що дозволяє створювати високопродуктивні плантації з тривалим терміном існування. Представляє собою кущ або кущоподібне дерево висотою до 6-8 м. Культура характеризується високими показниками приросту по довжині – до 3-5 см на день, в середньому 1,5 м в рік.

Насадження верби залишаються продуктивними близько 25 років, а врожай впродовж цього періоду можна збирати кожні 2-3 роки. Середній врожай верби становить 10-12 т сухої маси з га за рік. За даними деяких авторів, при особливо сприятливих умовах врожай може досягати 30-40 сух. т/га/рік.

Ступінь виснаження землі вербою в 3-5 разів нижче, ніж зерновими культурами, частково це зумовлено тим, що близько 60-80% поживних речовин повертаються в землю разом з опалим листям (Eleftheriadis, 2010).

Ще одною позитивною властивістю верби є фізіологічна стійкість до хвороб які уражають рослинні організми, комах шкідників та низьких температур.

У перший рік росту плантації азотні добрива вносити не рекомендують у зв'язку з необхідністю розвитку кореневої системи рослин. У наступні роки його доцільно вносити частинами в період початку вегетації та інтенсивного росту. З листям за 3-річний період в ґрунт потрапляє 20 кг азоту, тому після збору врожаю доцільно проводити культивуацію міжрядь. Після першого року росту культуру необхідно зрізати на висоті до 5 см від землі для стимулювання процесу кушіння (деякі дослідження стверджують, що продуктивність насаджень без проведення технічного зрізу вище на момент збору врожаю, також не рекомендують проводити технічний зріз при слабкому зростанні рослин і великій кількості бур'янів). Збирають вербу після закінчення вегетації, тобто з жовтня-листопада по березень- квітень, але переважно в зимовий період (після опадання листя). З однієї плантації можна збирати врожай 7-8 разів (при 3-річному циклі), після чого необхідно провести рекультивуацію.

Ліквідація плантації являє собою відносно просту операцію через неглибоку кореневу систему культури. Навесні при висоті пагонів близько 20-30 см необхідно внести гербіцид, зрізати гілки і припахати. Восени землю вже можна використовувати для вирощування інших культур (Трибой та ін., 2014 р).

1.3. Вплив високих концентрацій солей на родючість ґрунтів

Однією з найактуальніших проблем сучасного світу, що пов'язана із природними процесами та антропогенним впливом на довкілля, є засолення ґрунтів. Спектр змін у рослин, які зазнають його впливу, спричинений сумісною дією іонного, осмотичного та оксидативного стресів.

В Україні спостерігається дуже високий рівень антропогенного забруднення та деградації земель. Так площа порушених земель становить 144 тис. га, а землі, які потребують консервації займають 1,1 млн. га. Засолені ґрунти в Україні

поширені на площі 1,7 млн. га, а осолонцьовані займають площу 2,2 млн. га. (LAT, 2012). Солонці не утворюють суцільних масивів, а залягають окремими плямами різної площі та конфігурації серед зональних ґрунтів, утворюючи комплекси і сполучення з різною часткою вмісту, що різко знижує продуктивність усієї земельної ділянки. Кількість таких плям коливається і становить здебільшого 10- 20% від загальної площі, а в окремих місцях – понад 50%. Площі, де плями солонців складають понад 50%, переважно не розорюються.

Під час зрошення може виникати вторинна солонцюватість ґрунтів внаслідок входження натрію та калію в ґрунтовий вбирний комплекс; виділяють такі причини вторинного осолонцювання:

- несприятливий хімічний склад зрошувальної води, у якій вміст лужних солей натрію, калію в еквівалентному співвідношенні перевищує вміст солей кальцію, магнію, заліза та інших дво- та тривалентних катіонів;
- підйом до поверхні підґрунтових вод з несприятливим хімічним складом; при цьому спочатку зазвичай розвивається процес вторинного засолення ґрунтів, а потім, за промивання солей атмосферними опадами або зрошувальними водами, – процес вторинного осолонцювання; - спеціальні промивання засолених ґрунтів, а також освоєння рисових систем, побудованих на природно засолених землях (перші роки) (Балюк, 2021).

Для відновлення продуктивності засолених ґрунтів, створення високопродуктивних біоценозів, а також підвищення родючості ґрунтів використовуються різноманітні ґрунтоохоронні методи меліорації, серед яких найбільш поширеними є методи хімічної меліорації, промивання засолених земель та біологічна рекультивация.

Метод хімічної меліорації полягає в витісненні натрію з ґрунтового поглинаючого комплексу кальцієм гіпсу або іншої кальцієвої солі. В якості меліорантів використовують також вапно, глиногіпс, хлористий кальцій, слабкий розчин сірчаної кислоти тощо. Гіпсування осолонцьованих ґрунтів у поєднанні з агротехнічними і агро меліораційними заходами призводять до окультурення цих ґрунтів, підвищення їх ефективної родючості. При цьому солі з ґрунтів повністю не видаляються, а відбувається їх перерозподіл за ґрунтовим профілем. Промивання засолених ґрунтів дозволяє видалити надлишки солей з підземного шару в результаті її промивання водою. При проходженні води через шари ґрунту солі розчиняються і вимиваються в ґрунтові води. Промивання проводять на ґрунтах, що містять в метровому шарі більше 0,02-0,03 % хлору по масі.

Перевагами методу є можливість використання промивання одночасно з вирощуванням деяких сільськогосподарських культур. Промивання не дозволяє повністю видалити солі з ґрунту, а зниження їх вмісту відбувається за рахунок перерозподілу за ґрунтовим профілем. Крім того, виникає потреба в значній кількості води для промивання ґрунтів і також може відбуватися забруднення ґрунтових вод. Метод біологічної рекультивації засолених ґрунтів, заснований на використанні для розсолоння земель рослин-галофітів, здатних накопичувати в надземній частині солі, що містяться в ґрунті. До переваг методу необхідно віднести його економічну доцільність та можливість видалення шкідливих солей з ґрунтів різного ступеня засолення, без порушення природних екологічних процесів та властивостей ґрунтів. Використання рослин-галофітів сприяє відновленню екологічного стану засолених ґрунтів та відновленню природного біорізноманіття. Єдиним недоліком є необхідність збирання та утилізації наземної частини солеросів (Лаврик М. О.)

Великий внесок у розвиток теоретичних уявлень про водно-сольовий режим засоленних ґрунтів зробив В.А. Ковда (1939, 1946, 1947, 1954), який досліджував процеси переміщення солей у ґрунтах у зв'язку з географічним середовищем (геоморфологія, гідрогеологія, клімат, рослинність), в болотних умовах та під впливом зрошення.

Залежно від глибини залягання ґрунтових вод він виділяє три типи режиму вологості: елювіального зволоження, плівчасто-капілярного ґрунтового зволоження та капілярно-ґрунтового зволоження. Згідно з водним режимом, він розрізняє три основних напрямки сольового режиму: сезонно-необоротного сольового режиму засолення (запас солей з циклу в цикл зростає), сезонно-оборотного сольового режиму (запас солей у ґрунті залишається стабільним), сезонно-необоротного сольового режиму розсолення (запас солей зменшується)

Засолення ґрунтів є серйозною проблемою, яка впливає на їх якість та продуктивність. Низька якість ґрунту із високим вмістом солей може значно обмежити ріст рослин і призвести до зменшення врожайності. Різні дослідження в цій галузі надають важливі відомості про вплив засолення на ґрунт та рослини. Підвищення концентрації солі в навколишньому середовищі змінює перебіг фізіологічних процесів в організмі рослин, що призводить до інгібування чи зупинки росту, а іноді і до їхньої загибелі (Василик, 2011).

В цілому, дослідження впливу засолення на ґрунт і рослини дають цінні знання для розуміння цієї проблеми і розробки ефективних стратегій її управління. Невеликий обсяг досліджень вказує на необхідність більш активного вивчення сфери збереження родючості ґрунтів і розвитку стійких до засолення сільськогосподарських систем, щоб забезпечити продуктивність і стійкість сільськогосподарського сектора.

1.3 Використання рослин для фітореMediaції

Виробнича діяльність людини порушує природні біохімічні цикли, забруднює повітря, водою й ґрунти різноманітними органічними й неорганічними речовинами. Використання пестицидів у сільському господарстві та у побуті, відходи двигунів внутрішнього згорання транспортних засобів, видобуток і переробка корисних копалин, міські стоки мегаполісів призводять до порушення природних циклів і збалансованих умов навколишнього середовища. Екологічні проблеми стають все актуальнішими для сьогодення. Поява такого поняття як фітореMediaція й знань пов'язаних з ним дає шанс людству вирішити значну частину екологічних проблем. ФітореMediaція це – комплекс методів очищення фітоценозів, зокрема за участі верби.

Зміна біологічної активності ґрунту та вмісту гумусу в ньому залежить від двох процесів – гуміфікації (утворення гумусу) та мінералізації органічної речовини. В свою чергу продуктивність ґрунтового комплексу визначається комплексом факторів: кліматичними умовами, генетичною природою ґрунтів та їх станом в умовах антропогенного використання, якістю ґрунтоутворювальних порід, гранулометричним складом та ін.

Виведення з обробітку малопродуктивних земель та деградованих ґрунтів і формування на них природного фітоценозу різних культур створює сприятливі умови для відновлення ґрунотворних процесів. Дослідженнями встановлено, що за 15 років такого стану у верхніх шарах ґрунту підвищується вміст органічної речовини та рухомих сполук фосфору і калію.

Тому, досить актуальним є встановлення впливу вирощування нових енергетичних культур: проса лозовидного (*Panicum virgatum*), міскантусу (*Miscanthus*), біг блуестему (*Andropogon gerardii*), індіанграсу (*Sorghastrum nutans*) та інших багаторічних злаків на мікробіологічну активність ґрунту.

Згідно проведених досліджень на деградованих ґрунтах Полтавщини визначено, що зростання врожайності фітомаси вище перелічених енергетичних культур впливає на збільшення кількості органічного матеріалу залишеного на поверхні ґрунту (листки, стебла і суцвіття), що в поєднанні із вологістю підвищує біогенність орного шару ґрунту. Найінтенсивніша біологічна активність ґрунту спостерігається у весняно–літній періоді на другий–третій рік вирощування багаторічних культур, що передусім пов'язано із їх морфологічними особливостями, кількістю опадів та температурним режимом вегетації.

Враховуючи значну кількість органічного матеріалу, що залишається на поверхні ґрунту на час закінчення вегетації енергетичних культур, а також позитивну динаміку збільшення біогенності ґрунту за їх багаторічного вирощування, дослідження в даному напрямку необхідно розширити і продовжити (Коваль, 2013).

Видобування корисних копалин супроводжується значним забрудненням середовища. Наприклад, у м. Борислав, що на Львівщині, є нафтове родовище, за свою 150-річну історію розвитку тут видобули 40 мільйонів тонн нафти і 15 млрд. м³ газу. Цей період тривав до 60-их років ХХ століття. Далі були згорнені бурові роботи у зв'язку з виснаженням Бориславського нафтового родовища, але продовжилася експлуатація старих свердловин на низькому культурному рівні. Тож довкілля й далі забруднювалося нафтою.

Внаслідок забруднення ґрунту нафтопродуктами, відбуваються зміни його фізико-хімічних і біологічних властивостей, що призводить до створення анаеробних умов, зміни окисно-відновного потенціалу, порушення вуглецево-азотного балансу, зменшення вмісту кальцію і магнію, втрати родючості, гідрофобності, збільшення ерозії, вивітрювання та інших негативних наслідків. Ці зміни негативно впливають на всі живі організми.

Водночас, в районах нафтовидобутку спостерігається пристосування компонентів екосистем до хронічного впливу нафти, тут існують стійкі види рослин, які домінують на фоні пригнічення решти видів і можуть слугувати для очищення, тобто фітореMediaції, середовища. ФітореMediaція має ряд переваг перед фізичними методами реMediaції: може використовуватися на великих площах, значно дешевша, не вимагає спеціального обладнання, сприяє збереженню та покращенню навколишнього середовища. Один із таких видів, осоку шорстковолосисту (*Carex hirta L.*), дослідники спробували використати як фітореMediaнт ґрунтів, забруднених нафтою. У дослідях використовували сиру Бориславську нафту густиною 0,96 г/мл, хімічний склад якої був наступним: вміст сірки – 0,22%, насичених вуглеводнів – 49,48%, ненасичених/ароматичних вуглеводнів – 50,52%, кадмію – 2,7 мг/кг, свинцю – 5,2 мг/кг, ртуті – 4,2 мг/кг, нікелю – 6,8 мг/кг.

Вегетативні особини осоки шорстковолосистої висаджували у нафтозабруднений ґрунт через три тижні після внесення нафти (50 г/кг) – це необхідний термін для вивітрювання летких токсичних нафтопродуктів. Рослини були однакові за віком і розмірами: висота надземної частини – $27,4 \pm 0,53$ см, довжина підземних кореневищ – $20,0 \pm 0,75$ см. Аналізували рослини *C. hirta* через 30 діб росту на нафтозабрудненому ґрунті.

Для встановлення участі осоки шорстко волосистої у деградації нафти рослини вирощували у стерильних горщиках і з стерильним ґрунтом в лабораторних умовах.. У стерильні горщики вносили стерильний нафтозабруднений ґрунт. У половину горщиків висаджували рослини *C. hirta* зі стерильними коренями.

Для дослідження рослин як можливих очищувачів нафтозабруднених ґрунтів від важких металів заклали польові досліді. Для того, щоб умови були максимально наближеними до природних, викопали чотири рови розміром 4 м × 1 м, глибиною 25 см та вистелили поліетиленовою плівкою.

У півці пробили дірки, щоб не зупинявся природний рух вод у ґрунті. У два рови внесли по 1000 кг чистого ґрунту (контрольний ґрунт), а у два інші – таку ж кількість забрудненого ґрунту нафтою. У всі рови висаджували рослини осоки шорстковолосистої.

Попередні дослідження показали, що біодеградація нафти у ґрунті активно відбувається завдяки абіотичним і біотичним факторам. У модельних польових дослідах нафтозабруднений ґрунт очистився за участю рослин на 6,1% краще порівняно із нафтозабрудненим ґрунтом без рослин.

Отже, рослини беруть активну участь у процесах біодеградації складових нафти. Проте така участь рослини може бути як пряма, так і опосередкована. Відомо, що ризосферна зона рослин *C. hirta* має позитивний вплив на багато груп мікроорганізмів ґрунту, що можуть брати участь у деструкції вуглеводнів нафти. Для того, щоб з'ясувати участь власне рослин осоки шорстковолосистої в процесах деградації нафти використовували стерильний ґрунт.

Рослини *C. hirta* зі стерильними кореневищами за 30 днів росту на нафтозабрудненому попередньо простерилізованому ґрунті спричинили очищення ґрунту від нафтопродуктів на 80,9 %. В той час як нафтозабруднений стерильний ґрунт без рослин очистився від нафтопродуктів за дії абіотичних чинників середовища на 72,3 %. Отже, за участю рослин осоки шорстковолосистої вміст нафтопродуктів знизився на 8,6 % порівняно з контролем (Буньо, 2017).

Окрім органічних компонентів, до складу нафти входять важкі метали, які можуть бути додатковим чинником негативного впливу на рослини. Відомо, що важкі метали швидко нагромаджуються у ґрунті і надзвичайно повільно з нього виводяться. Ще однією особливістю важких металів є те, що накопичуються вони, здебільшого, у верхньому родючому шарі ґрунту, де становлять пряму небезпеку для рослин і мікроорганізмів.

Результати досліджень показують, що в нафтозабрудненому ґрунті, на якому зростали рослини *C. hirta*, концентрація більшості важких металів достовірно не відрізнялась від значень у контролі. Імовірно, внесення нафти у ґрунт не спричинило нагромадження у ньому важких металів. Проте у місцях нафтопромислу, де нафтові розливи відбуваються хронічно, спостерігається підвищений вміст важких металів у ґрунті, що можна пояснити їх нагромадженням та акумуляцією.

Відомо, що рослини можуть нагромаджувати великі кількості важких металів. У рослин *C. hirta*, які зростали на ґрунті, забрудненому нафтою, вміст важких металів у надземній частині був значно вищий, ніж у контролю. Надлишковому накопиченню важких металів у рослинах можуть сприяти: зміна рН ґрунту, нестача вологи, підвищена температура та низька буферна ємність ґрунту. Усі перелічені показники властиві для ґрунту, забрудненого нафтою. Водночас, вміст важких металів у кореневищах рослин осоки був істотно нижчим, ніж у надземній частині.

Відомо, що акумуляція рослинами важких металів у високих концентраціях відбувається, здебільшого, у коренях, бо на межі корінь-стебло існує фізіологічний бар'єр, який суттєво захищає надземну частину. Більшість рослин поглинають воду і мінеральні елементи за допомогою корневих волосків. У рослин *C. hirta* «поглинальний» апарат є значно потужнішим, бо крім корневих волосків сюди належить екстратриксальний міцелій грибів, що колонізували рослинне кореневище. Причому міцелій за умов росту на нафтозабрудненому ґрунті є значно густішим у порівнянні з контролем, збільшує адсорбційну поверхню і, відповідно, рівень кореневого живлення рослин.

У багатьох рослин виникають природні "барикади" на рівні клітинної стінки, які перешкоджають проникненню екзогенних токсичних сполук у клітину. У стресових ситуаціях в клітинах зростає вміст калози - нерозчинного полісахариду клітинної стінки. Це нагромадження калози ускладнює взаємозв'язок між клітинами і, в результаті, утруднює поширення поллютанта.

У кореневищі осоки шорстковолосистої в умовах росту на нафтозабрудненому ґрунті нагромадження калози у стінках клітин різних тканин практично знаходиться на рівні контролю. Таким чином у рослин *C. hirta* не виявлено природного бар'єру на шляху поступання мінеральних елементів з ґрунту, що може бути видоспецифічною ознакою (Цвілінюк, 2017).

Отже, це може пояснити вищий рівень нагромадження деяких важких металів у частині рослини, що знаходиться над землею, порівняно з частиною, що знаходиться під землею. Таким чином, рослини осоки шорстковолосистої можуть бути використані для фіторе mediaції забруднених нафтою та важкими металами територій.

Для очищення ґрунтів від надлишкової кількості металів необхідно весною висаджувати на нафтозабруднені ґрунти молоді рослини *C. hirta*, а в кінці вегетативного сезону косити надземну частину і вивозити на спеціально призначене місце для вилучення важких металів або їх знешкодження. Поглинені нафтопродукти рослина метаболізує в процесі життєдіяльності. Оскільки рослини *C. hirta* багаторічні і вегетативно добре розмножуються, то їх одноразове висаджування забезпечить фіторе mediaційний ефект на тривалий час (Цвілінюк, 2017).

Повернемось до нашого об'єкта досліджень, особливістю конкретно верби є те, що вона може випаровувати з ґрунту велику кількість води, тим самим ремедіючи маргінальні землі, не придатні для вирощування сільськогосподарських культур. Таким шляхом можна вирішити проблему осушення ґрунтів з великим обсягом підземних вод або захистити землю від заболочування. В період інтенсивної вегетації плантація верби може випаровувати 300-800 тис. л/га в залежності від щільності посадки.

Крім того, культура здатна абсорбувати великі кількості металевих мікроелементів, що призводить до очищення забруднених ґрунтів і стічних вод (при поливанні плантації стічними водами) (Сінченко, 2015).

Польським аграрним університетом міста Щецин було проведено польовий дослід в якому спостерігалася реакція *Salix viminalis L.*, роду JOPP, вирощеної на піщаному мулі, на різні дози осаду стічних вод. З-поміж досліджених комбінацій найкращим субстратом для *Salix viminalis L.*, роду JOPP, виявився відклад піщаного мулу, збагачений одноразовою дозою осаду стічних вод (15 см). Рослини на цій комбінації субстратів характеризувались істотно більш інтенсивним фотосинтезом і транспірацією та більш високим виходом біомаси в порівнянні з рослинами, вирощеними або на чистому піщаному мулі, або на рослинах з подвійною кількістю мулу стічних вод. (Вробель ДЖ., 1999).

При розробці комплексного методу відновлення антропогенно- та природнозасолених земель в межах діяльності вугледобувних підприємств одним із найважливіших умов ефективного розсолення ґрунтів є зниження рівнів підземних вод і попередження їх підняття (Лаврик, 2013).

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Об'єкт досліджень

Верба прутувидна (*Salix viminalis L.*) є швидкорослим видом рослин, що використовується як біомаса для виробництва енергії. Вона має високу здатність до регенерації після висічення, що робить її відмінним об'єктом для досліджень. Верба також має густу кореневу систему, що забезпечує їй стійкість в різних ґрунтових умовах. Ця рослина здатна накопичувати різні речовини у своїх тканинах, що робить її корисною для фітоекстракції та фітореMediaції забруднених ґрунтів. Верба прутувидна має багато характеристик, які роблять її привабливим об'єктом для досліджень у різних галузях науки.

2.2. Технологія вирощування рослинного матеріалу

Для нашого дослідження ми використовували чотири тижневі живці верби прутувидної, живці висаджували у контейнери з перлітом, по 7 живців у кожен.

Рослинний матеріал вирощували на водному середовищі із поживним розчином Холанда-Арнона (контроль) та розчином Холанда-Арнона із додаванням NaCl у концентраціях 100 та 200 мкМ.

Дослідження проводились впродовж чотирьох тижнів.

Аналіз отриманих даних проводився в Microsoft Excel.

2.3. Визначення площі листкової пластини

Для того щоб порівняти вплив засолення на площу листкової пластини рослини Верби прутувидної *Salix viminalis L.* нам необхідно два зразки рослинного матеріалу.

Морфологічні показники визначали вимірюванням довжини пагона за допомогою лінійки. Визначення площі листків проводили за допомогою програмного забезпечення Adobe Photoshop CC 2018.

2.4. Визначення вмісту пігментів

Вміст пігментів було визначено за допомогою спектрофотометричного методу (Мусієнко, 2001).

Нам потрібно було зважити на електронних терезах зразок свіжого рослинного матеріалу. Потім ми інтенсивно розтирали у фарфоровій ступці, з невеликою кількістю CaCO_3 на шпателі, і 80%-ому ацетоні.

Спочатку ми розтирали із 2 мл 80%- ому розчину ацетону, потім 3 мл та 5 мл

Наступним етапом була фільтрація: екстракт проходив через паперовий фільтр а згодом настоювався 2-3 хв у пробірці під корком. Для кількісного визначення пігментів частину отриманого екстракту наливали у 10 мм кювету спектрофотометра. Кювету для контролю було заповнено чистим ацетоном. Оптичну густина витягу було виміряно при відповідних довжинах - 665 нм- максимуми поглинання хлорофілу а, 649 хлорофіл b та 440 нм- максимуми поглинання каротиноїдів.

Пігменти було розраховано за такими формулами:

$$C_a = 11,63 \cdot D_{665} - 2,39 \cdot D_{649} (\text{мкг/мл})$$

$$C_b = 20,11 \cdot D_{649} - 5,18 \cdot D_{665} (\text{мкг/мл})$$

$$C_{a+b} = 6,45 \cdot D_{665} - 17,72 \cdot D_{649} (\text{мкг/мл})$$

$$C_{\text{карот}} = 4,695 \cdot D_{440} - 2,68 \cdot C_{a+b} (\text{мкг/мл})$$

Пізніше щоб визначити вміст у дослідному матеріалі, враховуючи об'єм витягу і масу зразка:

$$A = \frac{C \times V}{P \times 1000} \quad (1)$$

C- концентрація пігментів у мкг/мл; V- об'єм витягу пігментів у мл; P- наважка рослинного матеріалу в г; A- вміст пігменту в рослинному матеріалі в мкг/г маси сирової речовини

2.5. Визначення вмісту проліну

При взаємодії проліну й нінгідрину утворюється сполука жовтого кольору. Цей метод передбачає підготовку гомогенату рослинного матеріалу та вимірювання світлопоглинання для аналізу.

Для цього, рослинний матеріал масою 0,2 г розтирають у 4 мл 1% розчину сульфосаліцилової кислоти. Далі, залишають настоятися протягом 10-15 хвилин.

Після настоювання гомогенат центрифугують протягом 20 хвилин при 5000g або фільтрують через лійки, додатково змочені 1% розчином сульфосаліцилової кислоти. Супернатант (рідина, яка залишається після центрифугування або фільтрації) зливають, а до осаду додають 1% розчин сульфосаліцилової кислоти. Після цього настоюють протягом 15 хвилин і знову центрифугують. Цю дію повторюють ще один раз, а потім об'єднують 3 супернатанти. Отриману витяжку перед аналізом зберігають у холодильнику.

Для проведення аналізу, до 1 мл гомогенату додають 2 мл нінгідринового реактиву. Зміст пробірки перемішують і поміщають в кип'ячу водяну баню на 60 хвилин. Після кип'ятіння пробірки швидко охолоджують у льоді. Наступною кроком є вимірювання світлопоглинання при довжині хвилі 510 нм. Це дозволяє отримати показник, який може бути використаний для аналізу та порівняння біохімічних характеристик рослинного матеріалу.

Розрахунок: Вміст проліну виражають в мкг/г сирової речовини по формулі:

$$X = \frac{C \times V_1}{p \times V_2}, \quad (2)$$

C – концентрація проліну визначена за калібрувальним графіком мкг/мл; V_1 – загальний об'єм гомогената, мл; p – наважка, г; V_2 – об'єм гомогенату взятий для проведення реакції, мл.

2.6. Визначення активності процесів перекисного окиснення ліпідів в рослинних тканинах за утворенням малонового диальдегіду при дії NaCl засолення

Визначення вмісту малонового диальдегіду проводили за наступною схемою: до 0,5мг подрібненого у ступці сухого рослинного матеріалу додавали 3мл дистильованої води та 3мл ТХО, після чого інкубували зразки на гарячій водяній бані впродовж 30хв. По закінченні терміну інкубування пробірки охолоджувались у воді з льодом, після повного охолодження вміст пробврок центрифугувався 10хв при 30000 об/хв.

До отриманого супернатанту додавали 2мл тіобарбітурової к-ти, а до контролю 2мл трихлороцтової к-ти., через 0,5-1 хвилину вимірювали оптичну густину на спектрофотометрі (кювета 0,5см, довжина хвилі 532нм). Вимірювання проводили проти контролю-1мл ТХО + 1мл ТБК.

Визначали вміст малонового диальдегіду у досліджуваних зразках, враховуючи об'єм витягу і масу зразка, за формулою:

$$X = (D530 - D600) \cdot V / \epsilon \cdot n \quad , \quad (3)$$

Де: X – кількість МДА у мМ/г сирої ваги,

V – об'єм реакційної суміші,

ϵ - коефіцієнт екстинції, складає 155 мМ-1 см-1

n – наважка, г

2.7. Визначення впливу засолення на вміст аскорбінової кислоти в рослинах верби прутовидної

Для виконання досліду ми відібрали наважки по 2 г листового матеріалу, та екстрагували АК у 10 мл 2% розчину метафосфорної кислоти. Після екстракції зразки були фільтровані. Для вимірювання вмісту АК використовувався спектрофотометр при довжині хвилі 530 нм.

У зразки додали 0.0025% розчин 2,6-дихлорфеноліндофенолу (ДФФ), який реагував з АК та провели вимірювання оптичної густини (OD) для кожного зразка. Для кількісного визначення АК був побудований калібрувальний графік, що дозволив визначити концентрацію АК на основі оптичної густини.

2.8. Визначення вмісту фенольних сполук в рослинах верби прутовидної

Ми відібрали наважки рослинного матеріалу, для контролю було взято 4.030 г сирі маси, для досліду 1 – 4.017 г, а для досліду 2 – 4.021 г та подрібнили їх у ступці. Подрібнений рослинний матеріал помістили у пробірки у колбу або інший лабораторний посуд і довели до значення 100мл. Екстракція здійснювалась при нагріванні на водяній бані протягом 15 хвилин.

Після завершення нагрівання та екстракції отриману суміш відфільтували.

Для визначення вмісту фенольних сполук використовувалося титрування розчином 0.1N калію перманганату та додавали його до моменту зміни забарвлення екстракту, що свідчить про закінчення реакції. Визначення концентрації фенольних сполук проведено за формулою, залежною від об'єму використаного титранта.

Використаємо наступну формулу для розрахунку концентрації фенольних сполук:

$$C_{\text{фенолів}} = K \times V \quad (4)$$

Де: K - 4,16, стандартний коефіцієнт перерахунку фенольних сполук

V – об'єм титранту

1. $C_{\text{контроль}} = 4,16 \times 3,5 = \pm 14,56 \text{ мг/г}$

2. $C_{\text{досл 1}} = 4,16 \times 4,2 = \pm 17,47 \text{ мг/г}$

3. $C_{\text{досл 2}} = 4,16 \times 5,1 = \pm 21,22 \text{ мг/г}$

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1. Вплив засолення на площу листової пластини рослини Вербви прутувидної *Salix viminalis L.*

Засолення має негативний вплив на ріст і розмір рослин, що має прямі наслідки для їхніх життєздатності та розвитку. Одним з основних чинників, які впливають на рослини у середовищах з високим рівнем солей, є обмежена доступність води. Високий рівень солей у ґрунті перешкоджає зворотному всмоктуванню води рослинами, що призводить до дефіциту вологи і пригнічення росту.

Солі проявляють токсичні властивості для рослин. Вони порушують хімічні процеси в клітинах, спричиняючи ураження тканин, зниження фотосинтезу і загальне погіршення фізіологічного стану організму.

Засолення також викликає стресові реакції у рослин, які проявляються у зменшенні активності ферментів та активації антиоксидантних систем. Ці реакції мають негативний вплив на метаболізм рослин і гальмують їхній ріст.

Крім того, засолення призводить до змін у властивостях ґрунту, зокрема збільшення осмотичного тиску і зниження водопровідності. Це створює незвичайні умови для кореневої системи рослин і додатково ускладнює всмоктування води і поживних речовин.

В процесі виконання дослідів ми отримали такі результати: середня площа листків у контрольному зразку втричі більша ніж у дослідному, що свідчить про зменшення площі листової пластини рослин вербви прутувидної в умовах засолення втричі (рис.1).

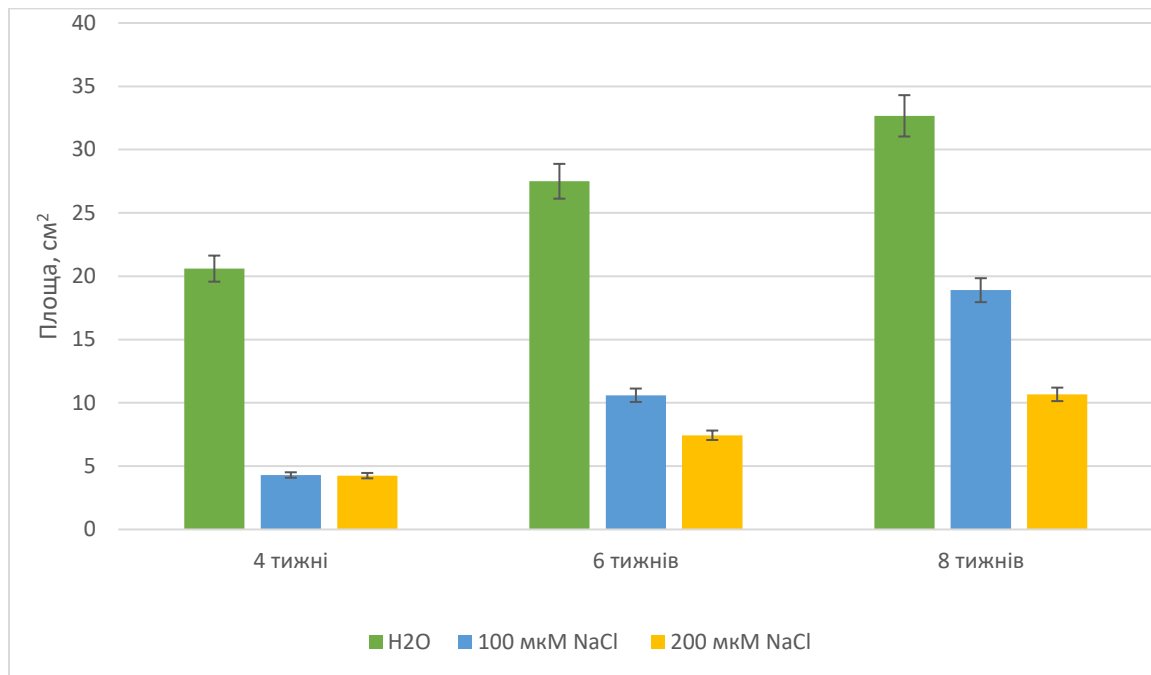


Рис 1. Зміни розміру листкової пластинки рослин верби за дії NaCl засолення

Наші дослідження підтверджують, що засолення має важливий вплив на ріст і розмір Верби прутувидної. Ріст рослин затримується зі збільшенням концентрації солі в середовищі (Деркач, 2014).

3.2. Вплив засолення на вміст пігментів рослини Верби прутувидної *Salix viminalis* L.

Засолення є абіотичним стресовим чинником котрий суттєво впливає на фізіологічні та біохімічні процеси, зокрема на фотосинтетичний апарат рослин та може призвести до збільшення вироблення реактивних форм кисню і розпаду пігментів, що може зменшити їх кількість у рослинах.

Окрім хлорофілу, інші пігменти, такі як каротиноїди, також пошкоджуються при засоленні. Зміни кількісного вмісту пігментів відносно рівню сольового стресу представлено на рисунках 3 – 5:

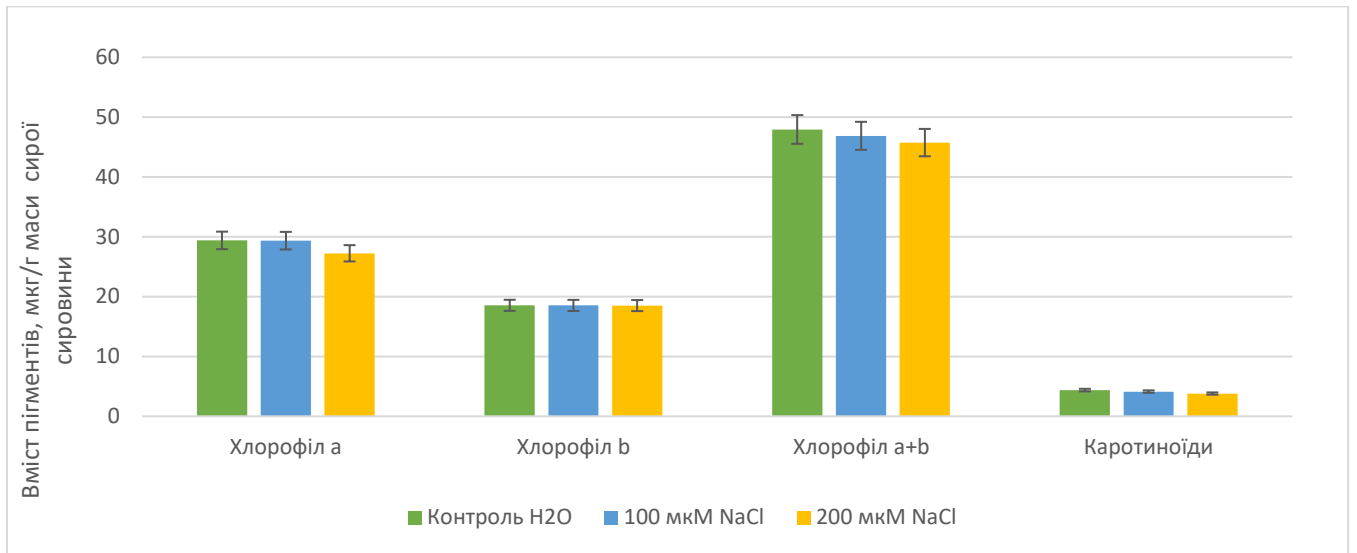


Рис.3. Вміст пігментів у 4 тижневих рослин верби за дії NaCl засолення

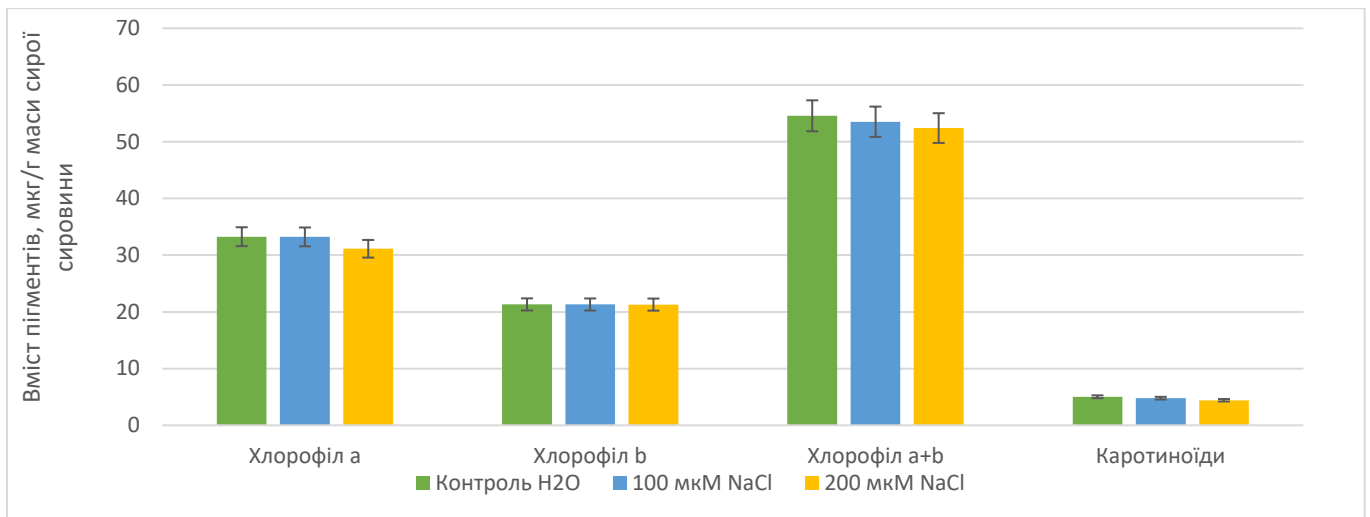


Рис. 4. Вміст пігментів у 6 тижневих рослин верби за дії NaCl засолення

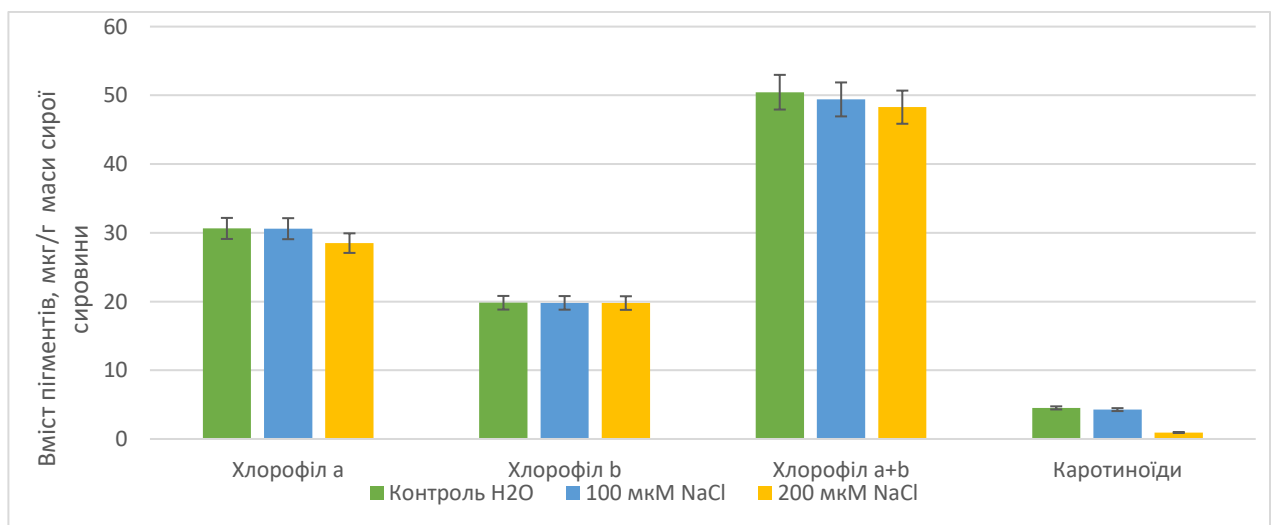


Рис. 5. Вміст пігментів у 8 тижневих рослин верби за дії NaCl засолення

Пігментний склад, зокрема вміст хлорофілів та продуктів їх перетворення — феофітинів, є одним із показників стану фотосинтетичного апарату в умовах дії засолення (Деркач, 2014).

За наведеними діаграмами можна зробити наступні спостереження щодо пігментного складу рослини:

Загалом, для всіх трьох варіантів спостерігається зростання вмісту хлорофілу а, у рослинах верби залежно від тривалості сольового стресу. В порівнянні з контрольною групою (H_2O), концентрації $NaCl$ (100 мкМ та 200 мкМ) викликають незначне зростання вмісту хлорофілу а, проте це зниження більш помітне при використанні більшої концентрації солі (200 мкМ $NaCl$). Аналогічно до хлорофілу а, вміст хлорофілу b також збільшується з тривалістю сольового стресу, але в цьому випадку спостерігається збільшення вмісту при використанні як 100 мкМ $NaCl$, так і 200 мкМ $NaCl$.

Вміст загального хлорофілу а+b також збільшується внаслідок засолення, але як і у випадку окремих хлорофілів, використання вищих концентрацій $NaCl$ призводить до зростання вмісту хлорофілу а+b.

Кількість каротиноїдів також зазнає змін впродовж тривалого сольового стресу. Зокрема, на 6-му тижні спостерігається зниження вмісту каротиноїдів при використанні 200 мкМ $NaCl$.

Ці дані вказують на наявність негативного впливу засолення на продукування хлорофілу та каротиноїдів, щоправда він є незначним. Загалом верба прутувидна має доволі високий рівень толерантності до засолення, через що вплив на фотосинтетичну систему є не великим, проте при збільшенні вмісту солей вплив на вироблення пігментів буде кореляційно зростати. Зростання вмісту пігментів фотосинтетичного апарату та антоціанів може бути компенсаторною реакцією організму рослин, адже в умовах стресу знижується ефективність використання сонячної енергії (Василик, 2011).

3.3. Вплив NaCl засолення на вміст проліну в листках рослини Верби прувовидної *Salix viminalis* L.

Пролін утворює важливі структурні елементи білків, такі як колаген, може брати участь у регуляції росту рослин, включаючи контроль над довжиною кореневої системи, квітковими бруньками та проліферацією клітин. Відомо, що накопичення проліну в рослин відбувається після впливу високих і низьких температур, оксидативного стресу, дії ультрафіолетового випромінювання, при вирощуванні за підвищених концентрацій NaCl та важких металів (Майор та ін., 2009).

Пролін відіграє роль активатора захисних механізмів рослини функціонуючи як антиоксидант, захищаючи рослину від стресу, пов'язаного зі змінами у середовищі, включаючи посуху, високі температури та радіаційну дію. Сольовий стрес зумовлює надвідновлення фотосинтетичного електронтранспортного ланцюга і призводить до утворення активних форм кисню (АФК), а отже, і до оксидативного стресу (Falleh et al. 2012).

Опираючись на результати дослідження можна зробити висновки, що вміст проліну збільшився за наявності NaCl в середовищі (рис. 6):

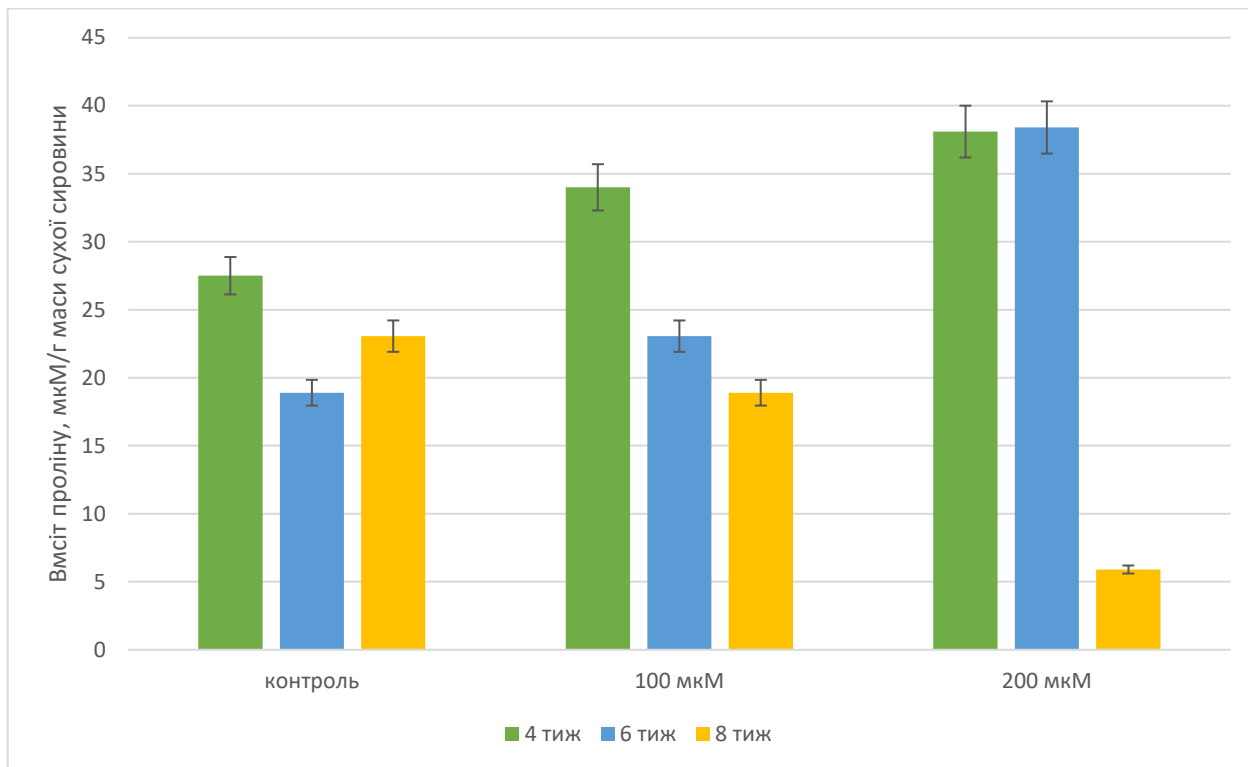


Рис. 6. Вміст проліну в 4, 6 та 8 тижневих рослин верби за дії NaCl засолення

На 4-му тижні, додавання 100 мкМ NaCl збільшило вміст проліну в 1,23 рази, відносно контролю а додавання 200 мкМ NaCl ще більше збільшило його в 1,38 разів. Це свідчить про активний синтез та накопичення проліну в рослині як відповідь на засолення.

Відповідь рослини на засолення може залежати від тривалості негативного впливу. Наприклад, на 6-му тижні, додавання 200 мкМ NaCl також збільшило вміст проліну, це свідчить про збільшену чутливість рослин до засолення і їх активну відповідь у формі накопичення проліну.

Однак, на 8-му тижні відповідь рослини на засолення була різною. При додаванні 200 мкМ NaCl вміст проліну впав до значно нижчого рівня, це може вказувати на зміну стресової відповіді рослини на засолення залежно від стадії адаптації до середовища. Відповідно, на 8-му тижні рослини вже витримують високу концентрацію NaCl з меншим накопиченням проліну.

3.4. Вплив NaCl засолення на активність процесів перекисного окиснення ліпідів в 4 тижневих рослинних тканинах верби

Збільшення вмісту малонового діальдегіду (МДА) в рослинних тканинах є результатом впливу несприятливих умов, таких як сольовий стрес, температурні коливання, забруднення середовища або інші стресові чинники. Умови стресу активують реакції, спрямовані на збереження життєздатності клітин, включаючи окислювальні процеси. Під впливом стресу, клітини рослин можуть виробляти більше активних форм кисню, таких як вільні радикали та перекис кисню. Ці активні форми кисню вступають в реакції з ліпідами в клітинних мембранах, в результаті чого утворюється МДА як один із продуктів перекисного окиснення ліпідів.

Збільшення вмісту МДА вказує на підвищену активність окислювальних процесів та негативний вплив стресу на клітини рослин. МДА може пошкоджувати білки та нуклеїнові кислоти, що впливає на функціонування клітин та розвиток рослини.

У нашому випадку зниження вмісту МДА у зразку з концентрацією 100 мкМ солі, відносно контролю, свідчить про те, що рослини виявляють певну захисну реакцію на окиснювальний стрес, і можуть виробляти антиоксиданти для боротьби з ним. Однак у зразку із більшим вмістом NaCl, а саме 200 мкМ спостерігається значне збільшення вмісту МДА, що свідчить про те, що рослини вже не можуть компенсувати вплив стресу і починають активно окислюватися (рис. 8).

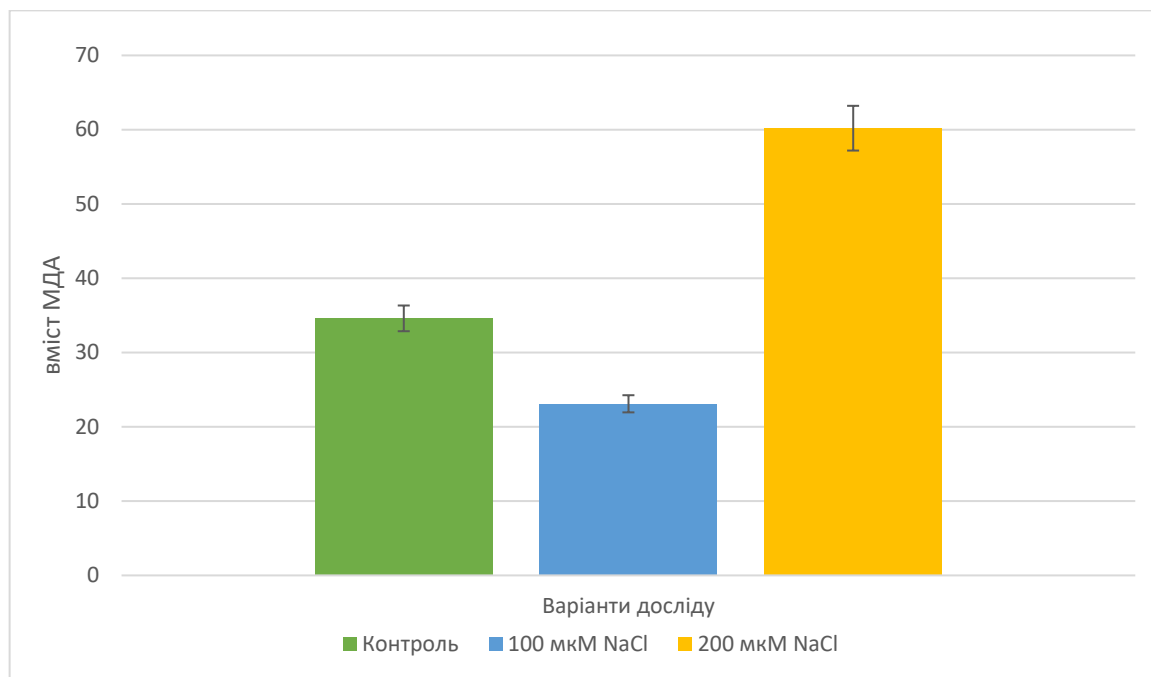


Рис. 8 Вміст МДА в листках 4 тижневих живців верби прутувидної за умов засолення

Показники вмісту малонового діальдегіду (МДА) у рослинах верби прутувидної при збільшенні вмісту солі, отримані в ході дослідю, свідчать про високий ступінь окислення та стресу, який впливає на рослину через засолення. Малоновий діальдегід є продуктом окислення ліпідів і використовується як маркер стресу в рослинах.

Отже, збільшення вмісту солі призводить до збільшення рівня малонового діальдегіду, що є ознакою погіршення фізіологічного стану рослин та неспроможністю адаптуватися до стресу, пов'язаного з засоленням.

3.5. Вплив засолення на вміст аскорбінової кислоти в рослинах верби прутувидної

Аскорбінова кислота є важливим компонентом антиоксидантної системи рослин, особливо в умовах засолення NaCl. Вона нейтралізує активні форми кисню (АФК), які накопичуються в результаті окислювального стресу, викликаного засоленням, і таким чином захищає клітини від пошкоджень.

Крім того, аскорбінова кислота бере участь у регенерації інших антиоксидантів, таких як глутатіон, у рамках аскорбат-глутатіонового циклу. У цьому циклі аскорбат відновлює перекис водню до води за участі ферменту аскорбатпероксидази, а потім регенерується за рахунок глутатіону, який також відновлюється ферментом глутатіонредуктазою. Умови засолення підвищують потребу в аскорбіновій кислоті, оскільки рівень АФК у тканинах рослин значно зростає. Аскорбінова кислота також відіграє роль у регуляції окисно-відновного стану клітин, забезпечуючи стійкість фотосинтетичного апарату та мембран. Її підвищений синтез і накопичення в умовах засолення є важливим адаптивним механізмом для підтримки гомеостазу і зменшення негативного впливу солей.

Отримані результати вказують на те, що в разі додавання низьких концентрацій NaCl кількість аскорбінової кислоти знижується, що може свідчити про незначний негативний вплив засолення та використання аскорбінової кислоти для антиоксидантного захисту. Водночас при більшій концентрації NaCl кількість аскорбінової кислоти зростає, що вказує на активацію захисних механізмів рослини за умов сильнішого стресу, включаючи посилений синтез цього антиоксиданту.

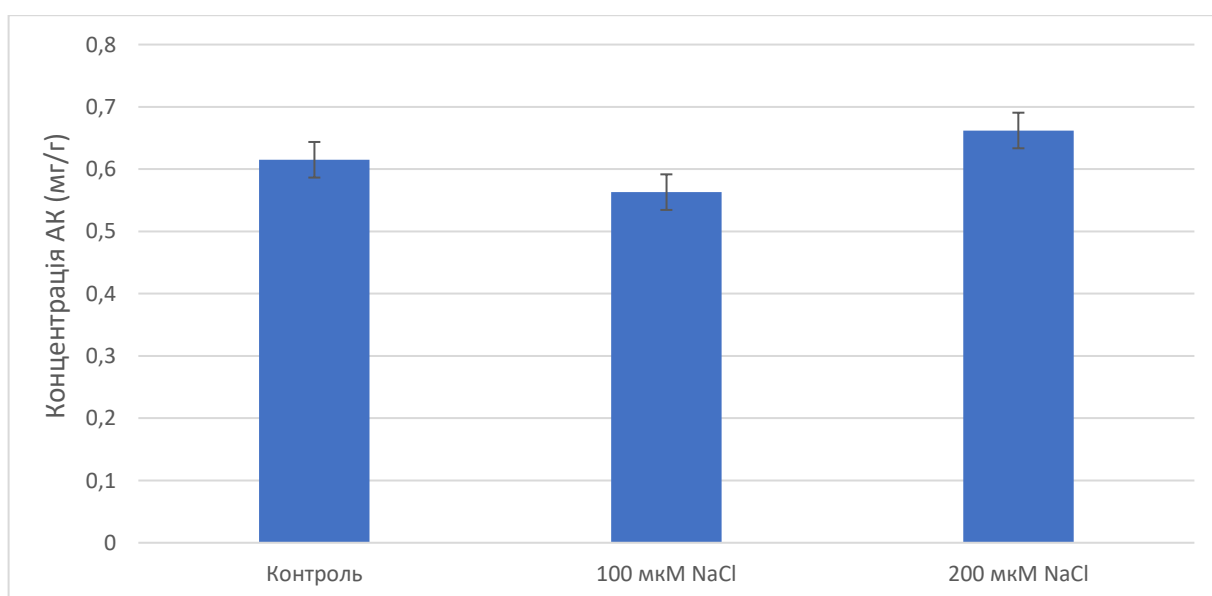


Рис. 9. Вміст аскорбінової кислоти в листках 4 тижневих живців верби прутувидної за умов засолення

3.7. Вплив засолення на вміст фенольних сполук в 4 тижневих живцях рослин верби прутовидної

Фенольні сполуки в рослинах верби прутовидної відіграють важливу роль у відповіді на засолення, оскільки вони мають численні біологічні функції, які допомагають рослинам адаптуватися до стресових умов. Однією з основних функцій фенольних сполук є їхня здатність до боротьби з окислювальним стресом, який є результатом накопичення активних форм кисню (АФК) у клітинах рослин.

Фенольні сполуки, такі як флавоноїди, фенольні кислоти та таніни, є потужними антиоксидантами, які можуть нейтралізувати вільні радикали і АФК, зменшуючи пошкодження клітин і тканин рослин. Це особливо важливо за умов засолення, коли рівень АФК в клітинах рослин підвищується через стрес. Зниження рівня АФК допомагає зберегти цілісність клітинних мембран, білків і ДНК.

У контрольному зразку вміст фенольних сполук був найменший (14.56 мг/г сирої речовини), тоді як зі збільшенням концентрації NaCl в середовищі (100 мкМ і 200 мкМ), кількість фенольних сполук поступово збільшувалась в 1,19 раз, та 1,45 разів відповідно.

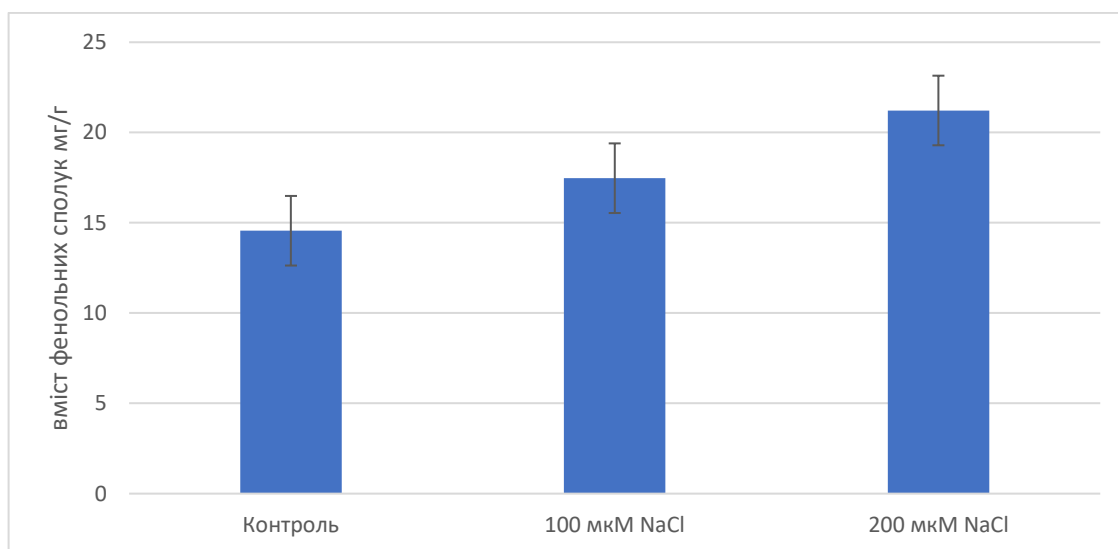


Рис 10. Вміст фенольних сполук мг/г у листках чотиритижневих живців рослин верби за умов засолення

Таке збільшення фенольних сполук вказує на те, що підвищена концентрація NaCl стимулює накопичення фенолів у рослин, що є частиною їх захисного механізму проти оксидативного стресу та пошкоджень, викликаних засоленням.

Крім того, фенольні сполуки можуть знижувати проникність клітинних мембран для токсичних іонів натрію (Na^+), що накопичуються в результаті засолення. Це дозволяє рослинам зберігати осмотичний баланс і мінімізувати токсичний ефект від надмірної кількості солей в клітинах. Фенольні сполуки стимулюють синтез інших захисних молекул, таких як аскорбінова кислота, яка також має антиоксидантну активність. Це забезпечує додатковий захист від оксидативного стресу, спричиненого засоленням.

Таким чином, фенольні сполуки в рослинах верби прутівидної є ключовими для забезпечення стійкості рослини до засолення, допомагаючи їй справлятися з окислювальним стресом, зберігати клітинну цілісність та підтримувати осмотичний баланс у стресових умовах.

ВИСНОВКИ:

1. NaCl засолення спричинює зменшення площі листкової пластини рослин Верби.
2. NaCl засолення негативно впливає на фотосинтетичний апарат рослин.
3. Збільшення інтенсивності засолення спричиняє зростання вмісту проліну.
4. Сольовий стрес спричиняє зростання рівня МДА в листках рослин верби, що є специфічною реакцією на засолення.
5. Засолення низькими концентраціями NaCl знижує вміст аскорбінової кислоти, тоді як вищі концентрації стимулюють її синтез.
6. Вміст фенольних сполук в рослинах верби прутувидної зростає в умовах засолення, сприяючи антиоксидантному захисту, підтриманню осмотичного балансу та зниженню токсичності іонів натрію.
7. Результати досліджень вказують на складні зміни у фізіології рослин верби прутувидної під впливом засолення, що є ознакою можливості адаптації до стресових умов. Зважаючи на це, верба прутувидна виявляє значний потенціал для розвитку у сфері фітореMediaції забруднених ґрунтів різними речовинами, зокрема солями, що може сприяти відновленню природного середовища і покращенню якості ґрунту та водних ресурсів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Атлас енергетичного потенціалу нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії. – К., 2016. – 54 с.
2. Балюк С. А., Медведєв В. В., Мірошніченко М. М. [та ін.]. Екологічний стан ґрунтів України // Український географічний журнал. – 2012. – № 2. – С. 38-42.
3. Библів Х.Р., Буньо Л.В., Пацула О.І. Вплив рослин *Salix viminalis* L. на вміст водорозчинних солей у субстраті хвостосховища м. Стебника. Літні наукові читання: Праці IV міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 30 липня 2016). Київ, 2016. С. 25—29.
4. Біленко О. П. Вирощування сировини для виробництва біопалива з огляду на ризики інтродукції // Шляхи впровадження сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур в агропідприємствах, зберігання та переробка продукції рослинництва : матеріали наук.-практ. інтернет-конф. / за ред. М. Я. Шевніков, Г. М. Жемела [та ін.]. – Полтава, 2013. – С. 25–28.
5. Булигін С. Ю. Енергоконверсія органічних ресурсів для відтворення родючості ґрунтів і виробництва біопалива // Вісник аграрної науки. – 2017. – № 3. – С. 54–61.
6. Буньо Л.В., Фецюх Н., Пацула О.І., Терек О.І. Якість рослинної сировини, одержаної з *Salix viminalis* L., вирощеної на засоленому субстраті хвостосховища м. Стебника. Біологічні студії. 2017. 11, № 3—4. С. 96—97.
7. Василик Ю. В., Лушак В. І. Вплив високих концентрацій хлориду натрію на вміст пігментів та вільнорадикальні процеси у листках проростків кукурудзи // Український біохімічний журнал. – 2011. – № 83(4). – С. 94-104.
8. Величко О. Вплив нафтового забруднення ґрунту на вміст аскорбінової кислоти та активність аскорбатоксидази в органах рослин люцерни округлої / О. Величко, О. Терек // Наук. вісн. ЛНАВМ ім. С. З. Гжицького. – 2008. – Т. 10, № 3. Ч. 2. – С. 144-148.

9. Величко О. Ефективність функціонування симбіотичної системи *Bradyrhizobium japonicum* - рослини сої у нафтозабрудненому ґрунті / О. Величко // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. – 2012. – Вип. 58. – С. 150-157.
10. Величко О. І. Вміст нітратного азоту в ґрунті та органах рослин сої за умов забруднення ґрунту нафтою / О. І. Величко // Науковий вісник НЛТУ України: збірник науково-технічних праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.16. – С. 351-354.
11. Вирощування енергетичних культур в Україні. – Київ : ТОВ «SALIX ENERGY», 2020. – [58] с.
12. Гелетуха Г. Г., Железна Т. А., Трибой О. В. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. – 2014. – 33 с.
13. Горова А. І. Біоіндикація та фіторе mediaція як складові ґрунтового моніторингу / А. В. Павличенко, Ю. Г. Гіке // Регіональні екологічні проблеми : матеріали III Міжнар. наук. конф. студентів, магістрантів і аспірантів, 24-26 берез. 2010 р., м. Одеса. – Одеса : ОДЕКУ, 2010. – С. 160-161.
14. Григорюк І. П. Перспективи підвищення енергетичної безпеки держави за рахунок фітоенергетичних рослин / В. М. Калініченко, Л. В. Малинська // Вісник ПДАА. – Полтава, 2012. – № 1. – С. 7–10.
15. Грицаєнко З. М. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів / А. О. Грицаєнко, В. П. Карпенко. – К. : ЗАТ «Нічлава», 2003. – 316 с.
16. Грицик Н. М. Кругообіг «енергії» у природі : вирощування енергетичних культур // Хімія. Агронімія. Сервіс. – 2011. – № 12. – С. 52–55.
17. Деркач І. В., Романюк Н. Д. Вплив NaCl засолення на ріст та пігментну систему *Fagopyrum esculentum* та *Faba bona* // Регуляція росту і розвитку рослин: фізіолого-біохімічні і генетичні аспекти: присвячена 125-річчю кафедри фізіології і біохімії рослин та мікроорганізмів Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна : тези доповідей III

- Міжнародної наукової конференції (11–12 листопада, 2014 р., м. Харків, Україна). — Х. : ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2014. – С. 110-111.
18. Джура Н. Використання рослин для рекультивації ґрунтів, забруднених нафтою і нафтопродуктами / Н. Джура, О. Романюк, Я. Гонсьор, О. Цвілинюк, О. Терек // Екологія та ноосферологія. – 2006. – Т. 17, №1-2. – С. 55-60.
19. Діденко Н. О., Волков Р. А., Панчук І. І. Вплив сольового стресу на вміст проліну та поліфенольних сполук у *Arabidopsis thaliana* // Біологічні системи. – 2016. – Т. 8, вип. 1. – С. 35-39.
20. Долгова Т. И. Экологическая оценка качества почвенных ценозов с учетом степени их засоления // Вісник НТУ України «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво». – Київ : НТУУ «КПІ»; «Техновибух», 2003. – Вип. 8. – С. 147-153.
21. Дубова О.В. Генетичні основи стійкості. Запоріжжя: Вид-во Запорізького нац. унту, 2016. 66 с.
22. Журба Г. Техніко-технологічні рішення під час закладання плантацій енергетичної верби / В. Паскарик // Техніка і технології АПК. – 2013. – № 11. – С. 28–31.
23. Іванова О. А. Потенціал використання фіторемедіації для чищення ґрунтів / О. С. Ковров // Молодь: наука та інновації : п'ята Всеукр. наук.-техн. конф. студентів, аспірантів і молодих учених, 28-29 листоп. 2017 р., Дніпро. – Дніпро, 2017. – Т. 10. – С. 6-7.
24. Коваль В. В. Сучасний стан забезпеченості ґрунтів Полтавської області гумусом (органічною речовиною) / В. О. Наталочка, С. К. Ткаченко [та ін.] // Вісник Полтавської ДАА. – 2013. – Вип. № 3. – С. 88.
25. Ковда В. А. Основы учения о почвах. Общая теория почвообразовательного процесса. Книга вторая. — М. : Наука, 1973. – 469 с.
26. Ковров О. С. Фіторемедіація – природні ліки для відновлення екосистем / О. А. Іванова // Екологія, охорона навколишнього середовища та

- збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво, 2017 : матеріали XX Міжнар. наук.-практ. конф., присвяченій 10-річчю створення еколог. ф-ту, 19-22 квіт. 2017 р. – Х. – С. 34.
27. Крайсвітній П. А. Енергетичні культури для отримання біопалива: додатковий прибуток для господарств / О. В. Рій, М. І. Кулик // Хімія. Агронімія. Сервіс. – 2010. – № 12. – С. 40–42.
28. Кулик М. І. Використання енергетичних культур для фітореємедіації // Розвиток АПК на засадах 15 раціонального природокористування: екологічний, соціальний та економічний аспекти : матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. (Полтава, 28 трав. 2015). – Полтава : ПДАА, 2015. – С. 25–29.
29. Кулик М. І. Раціональне використання деградованих земель для вирощування енергетичних культур і виробництва біопалива / П. А. Крайсвітній, О. В. Рій // Енергозбереження. – 2012. – № 4. – С. 12 – 13.
30. Кулик М. І. Рослинництво, як енергетичний потенціал країни / О. П. Слинько // Наукові праці Полтавської державної аграрної академії. Енергозбереження та альтернативні джерела енергії: проблеми і шляхи їх вирішення. – Т. 7 (26). – Полтава : РВВ ПДАА, 2010. – С. 24 – 31.
31. Лаврик М. О. Аналіз причин и последствий засоления почв в горнодобывающих регионах / А. В. Павличенко // Розробка родовищ: Зб. наук. пр. – Т. 7. – Дніпропетровськ : Лізунов Прес : ДВНЗ "НГУ", 2013. – С. 427-431.
32. Лаврик М. О. Використання рослин-фітореємедіантів для відновлення засолених ґрунтів в районах розташування ставків-відстійників шахтних вод / А. В. Павличенко // Геотехнічна механіка : міжвід. зб. наук. пр. / Ін-т геотехн. механіки ім. М. С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 115. – С. 207-215.
33. Лаврик М. О. Фітореємедіація засолених ґрунтів вугледобувних регіонів України / А. В. Павличенко // Геотехнічна механіка : міжвід. зб. наук. пр. /

- Ін-т геотехн. механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 111. – С. 75-83.
34. Майор П. С., Захарова В. П., Великожон Л. Г. Зміни вмісту вільного проліну у рослинах озимої пшениці протягом осінньо-зимового періоду // Физиол. биохим. культурных раст. – 2009. – Т. 41, №5. – С. 371-383.
35. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: підруч. для студ. вузів, що вивчають дисципліну "Фізіологія рослин". – К. : Вища шк., 1995. – 503 с.
36. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2011 році. – Київ: Міністерство екології та природних ресурсів України, ЛАТ, К., 2012. – 258 с.
37. Несветов О. О. ФітореMediaція: оцінка перспектив комплексного вирішення екологічних і енергетичних проблем // Наукові пр. ПДАА. – Полтава, 2010. – Т. 7. – С. 147–153.
38. Новикова А. В. Исследования засоленных и солонцовых почв: генезис, мелиорация, экология. Избранные труды.— Х. : КП «Друкарня 13», 2009. — 720 с.
39. Пришляк Н. В. Потенційні можливості вирощування біоенергетичної сировини на виробництво твердого біопалива / Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця // Агросвіт. – 2021. – № 1-2. – С. 33-45.
40. Проект Закону України «Про загальнодержавну програму використання та охорони земель» // Землеустрій і кадастр. – 2004. – № 1–2. – С. 101-128.
41. Римська К. А., Пацула О. І. Вплив засолення на морфологічні показники верби прутувидної *Salix viminalis* L. // International scientific-practical conference “Current issues of science, education and society: experience and prospects”: conference proceedings (Tampere, Finland, July 19, 2024). Tampere, Finland: Scholarly Publisher ICSSH, 2024. – С. 42.
42. Римська К., Пацула О. Вплив засолення на морфологічні показники верби прутувидної *Salix viminalis* L. // Молодь і поступ біології: збірник тез доповідей XX Міжнародної наукової конференції студентів і аспірантів (м. Львів, 18-20 квітня 2024 р.). – Львів: Сполом, 2024. – С. 299.

- 43.Роїк М. В. Енергетичні культури для виробництва біопалива / В. Л. Курило, М. Я. Гументик, В. М. Квак // Наукові праці Полтавської державної аграрної академії / Енергозбереження та альтернативні джерела енергії: проблеми і шляхи їх вирішення. – Т. 7 (26). – Полтава : РВВ ПДАА, 2010. – С. 12-17.
44. Сергєєва Л.Є., Михальська С.І., Курчій В.М., Тищенко О.М. Вміст вільного проліну в проростках кукурудзи як показник швидких реакцій на дію летальних осмотичних стресів *in vitro*. Физиология растений и генетика. 2015. 47, № 6. С. 491— 496.
45. Сергєєва Л., Броннікова Л. Пролін-опосередковані реакції тютюну на дію засолення // Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки / Біологічні науки. – 2016. – № 12. – С. 15-19.
- 46.Січенко В. М. Енергетична верба: технологія вирощування та використання. – Вінниця : ТОВ «НіландЛТД», 2015.– 340 с.
47. Терек О. І. Фізіологічні аспекти адаптації рослин до нафтозабрудненого ґрунту / О. І. Терек, О. І. Величко, Н. М. Джура // Фізіологія рослин: проблеми та перспективи розвитку: зб. наук. пр. К.: Логос, 2009. – Т. 1. – С. 217-225.
- 48.Топчій Н.М. Вплив важких металів на фотосинтез. Физиология и биохимия культ. растений. 2010. 42, № 2. С. 95—106.
49. Фецюх А., Буньо Л., Пацула О., Терек О. Накопичення важких металів рослинами *S. viminalis* за росту на субстраті з стебницького хвостосховища. Вісник Львівського нац. ун-ту ім. Івана Франка. Сер. біологічна. 2019. Вип. 81. С. 96—110.
<https://doi.org/10.30970/vbi.2019.81.11>
- 50.Харитонов М. М., Жиленко М. І., Колесник В. Є. [та ін.]. Моделювання профільної міграції солей в різних варіантах сільськогосподарської рекультивациі земель Західного Донбасу // Бюлетень інституту зернового господарства. – Дніпропетровськ, 2005. – № 26-27. – С. 99-103.

51. Хільчевський В. К. Агрогідрохімія. — К. : ВПЦ: Київський університет, 1995. — 222 с.
52. Худолєєва Л.В., Куцоконь Н.К. Порівняння солестійкості представників родів *Populus* і *Salix* в умовах *in vitro*. *Science Rise: Biological Science*. 2018. 2, N 11. С. 35—38. <https://doi.org/10.15587/2519-8025.2018.129702>
53. Цвілинюк О. М., Буньо Л.В., Карпин О.Л. [та ін.]. ФітореMediaція нафтозабруднених ґрунтів за допомогою рослин *Carex hirta* L. // *Строительство, материаловедение, машиностроение*. — 2017. — № 99. — С. 189-192.
54. Швед О. В. Екологічна біотехнологія: Навч. посібник у 2 кн. Кн. I / О. В. Швед, О. Б. Миколів, О. З. Комаровська-Порохнявець, В. П. Новіков. — Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2010. — 424с.
55. Якість ґрунту. Визначання рН (ISO10390:2005, IDT): ДСТУ ISO10390:2007. — Вид. офіц. — [Чинний від 01.10.2009]. — К.: Держспоживстандарт України, 2009. — 12с. (Національний стандарт України).
56. Abrol I. P., Yadav J. S. P., Sharma F. I. Salt-affected soils and their management // *Journal of Crop Improvement*. — 1998. — № 24(3). — P. 310-333.
57. Alexopoulou E., Christou M., Eleftheriadis I. Role of 4F cropping in determining future biomass potentials, including sustainability and policy related issues // *Biomass Department of CRES*. — 2012.
58. Bates L.S., Waldren R.P., Theare I.D. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant soil*. 1973. 39. P. 205 —207.
59. Butcher K., Wick A. F., DeSutter T. [et al.]. Soil salinization: a major threat to global food security // *The Plant Journal*. — 2016. — № 88(3). — P. 173-174.
60. Cheeseman J. M. (1988). Mechanisms of salinity tolerance // *Annual Review of Plant Biology*. — 1988. — № 59. — P. 651-681.

61. Falleh H., Jalleli I., Ksouri R. [et al.]. Effect of salt treatment on phenolic compounds and antioxidant activity of two *Mesembryanthemum edule* provenances // *Plant Physiol. Biochem.* – 2012. – Vol. 52. – P. 1-8.
62. Hu M., Le Y., Sardans J. [et al.]. Soil salinization decreases microbial diversity and abundance in Coastal Wetlands // *Frontiers in Microbiology.* – 2018. – Vol. 9. – P.
63. Kozina T., Ovcharuk O., Trach I. [et al.]. Spread mustard and prospects for biofuels // *Renewable Energy Sources. Engineering, Technology, Innovation.* – 2018. – P. 791-799.
64. Lee M. R., Kim C. S., Park T. [et al.]. Optimization of the ninhydrin reaction and development of a multiwell plate-based high-throughput proline detection assay // *Analytical Biochemistry.* – 2018. – № 556. – P. 57–62.
65. Stolarski M.J., Niksa D., Krzyzaniak M., Tworkowski J., Szczukowski S. Willow productivity from small-and large-scale experimental plantations in Poland from 2000 to 2017. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2019. N 101. P. 461—475. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.034>
66. Wojcik T. Biotechnologia w remediacji zanieczyszczen organicznych / T. Wojcik, B. Tomaszewska // *Biotechnologia* – 2005. – Vol.(4)71. – P.156–172.
67. Zeszyty problemowe postepow nauk rolniczych // Influence of the doses of sewage sludge from "Ostrow Grabowski" sewage treatment plant on biometrical and physiological features of *Salix viminalis* L. / Growing on sandy silt. – Poland, 1999. – C. 543-548.

ДОДАТКИ

Додаток 1

Сертифікат за участь у конференції «Молодь і поступ в біології»

The certificate is a rectangular document with a light yellow background and dark blue borders. At the top, it features several logos: the Carpathian Biosphere Reserve, the Polish Agricultural University, the University of Wrocław, the University of Łódź, the University of Pomorze in Słupsk, the Faculty of Biology at the University of Pomorze, and the Institute of Biology at the University of Pomorze. The main title 'СЕРТИФІКАТ / CERTIFICATE' is centered in large, bold, dark blue letters. Below it, the name 'Римська Кароліна' is written in a smaller, bold, dark blue font. The text of the certificate is presented in two columns, one in Ukrainian and one in English. The Ukrainian text identifies the participant as a member of the XX International Scientific Conference for students and PhD students, dedicated to the 90th anniversary of Professor Orest Demkiv, held from April 18-20, 2024, in Lviv, Ukraine. The English text provides the same information. At the bottom left, the name 'ХАМАРІ С.' is printed above the title 'Dean of the Faculty of Biology, Lviv National University named after Ivan Franko'. A circular purple stamp of the Faculty of Biology is placed over the signature area. At the bottom right, the name 'KHAMAR I. S.' is printed above the title 'Dean of the Faculty of Biology, Ivan Franko National University of Lviv'.

СЕРТИФІКАТ
CERTIFICATE

Римська Кароліна

Учасник XX Міжнародної наукової конференції студентів і аспірантів «МОЛОДЬ І ПОСТУП БІОЛОГІЇ», присвяченої 90-річчю від дня народження професора **Ореста Демківа**
18-20 квітня 2024 р., Львів, Україна

Participant of the XX International Scientific Conference for Students and PhD Students «YOUTH AND PROGRESS OF BIOLOGY», dedicated to the 90th anniversary of professor **Orest Demkiv**,
April 18-20, 2024, Lviv, Ukraine

ХАМАРІ С.
Декан біологічного факультету
Львівського національного університету імені Івана Франка

KHAMAR I. S.
Dean of the Faculty of Biology
Ivan Franko National University of Lviv

Додаток 2

Сертифікат за участь в конференції «CURRENT ISSUES OF SCIENCE, EDUCATION AND SOCIETY: EXPERIENCE AND PROSPECTS»

CERTIFICATE OF PARTICIPATION	
SERIAL № 19/07/36	
<u>Rymska Karolina Andriivna</u>	
FOR PARTICIPATING INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL CONFERENCE „CURRENT ISSUES OF SCIENCE, EDUCATION AND SOCIETY: EXPERIENCE AND PROSPECTS“	
TOTAL NUMBER OF ACADEMIC HOURS: 12 HOURS (0,4 CREDITS ECTS)	
DIRECTOR OF THE INTERNATIONAL CENTER OF SOCIAL SCIENCES AND HUMANITIES MIROSLAVA KOČIŠOVÁ	 JULY 19, 2024 TAMPERE, FINLAND