

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТУСА

СКІЛЬСЬКА ВІКТОРІЯ ВЯЧЕСЛАВІВНА

Допускається до захисту:  
в. о. завідувача кафедри  
ботаніки та екології  
канд. біол. наук, доцент  
О.В. Машталер  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ВПЛИВ ФТОРИДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТУ НА  
ЗМІНИ РОСТОВИХ ТА БІОХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ  
ДЕЯКИХ ВИДІВ ЛІКАРСЬКИХ РОСЛИН**

Спеціальність 091 Біологія та біохімія  
Кваліфікаційна (магістерська) робота

Науковий керівник:  
Л.О. Мікуліч, старший викладач  
кафедри ботаніки та екології,

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Науковий консультант:  
О.С. Руденко, д-р біол. наук,  
Професор, професор  
кафедри ботаніки та екології

Оцінка: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

Голова ЕК: \_\_\_\_\_  
(підпис)

Вінниця 2024

## АНОТАЦІЯ

**Скільська В. В.** Вплив фторидного забруднення ґрунту на зміни ростових та біохімічних параметрів деяких видів лікарських рослин. Спеціальність 091 «Біологія та біохімія», Освітня програма «Біологія». Донецький національний університет імені Василя Стуса, Вінниця, 2024.

У кваліфікаційній роботі було досліджено вплив забруднення чорнозему опідзоленого фторидом натрію при різних його концентраціях на ростові параметри лікарських рослин. Показано вплив фториду натрію на вміст хлорофілів, вологу та суху масу у деяких видів лікарських рослин.

Ключові слова: фториди, забруднення, лікарські рослини, концентрація.

48 с., 10 табл., 10 рис., 57 джерел

**Skilska V.** Influence of fluoride soil contamination on changes in growth and biochemical parameters of some species of medical plants. Specialty 091 «Biology and Biochemistry», Programme «Biology», Vasyly' Stus Donetsk National University, Vinnytsia, 2024.

The research paper examined the effects of sodium fluoride contaminated leached chernozem with its different concentrations on growth parameters of medicinal plants. The study demonstrated the impact of sodium fluoride on chlorophyll content, moisture and dry mass on some species of medicinal plants.

Keywords: fluoride, contamination, medicinal plants, concentration.

48 pp., 10 table., 10 figures, 57 sources



## ЗМІСТ

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....                                                                                                   | 5  |
| 1.1 Властивості фтору та його застосування.....                                                                                  | 5  |
| 1.2 Вміст фтору у ґрунтах та його значення.....                                                                                  | 7  |
| 1.3 Вплив фтору на ростові параметри рослин.....                                                                                 | 10 |
| РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ, МЕТОДИКИ ТА ОБ’ЄКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....                                                                             | 16 |
| 2.1 Методи та методики досліджень.....                                                                                           | 16 |
| 2.2 Об’єкти досліджень.....                                                                                                      | 19 |
| РОЗДІЛ 3 ВПЛИВ ФТОРИДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ НА РОСТОВІ ТА<br>БІОХІМІЧНІ ПАРАМЕТРИ ДЕЯКИХ ВИДІВ ЛІКАРСЬКИХ<br>РОСЛИН.....               | 25 |
| 3.1 Ростові параметри деяких видів лікарських рослин за умов фторидного<br>забруднення.....                                      | 25 |
| 3.2 Вплив фторидного забруднення ґрунту на вміст хлорофілу <i>a</i> та <i>b</i> в<br>листках деяких видів лікарських рослин..... | 33 |
| 3.3 Визначення вологості та сухої маси деяких лікарських рослин.....                                                             | 37 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                                                                    | 42 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....                                                                                                  | 43 |

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Фторидне забруднення є однією з екологічних проблем, оскільки фториди можуть негативно впливати на ріст і розвиток рослин, змінювати їх біохімічні процеси та якість. Це особливо важливо для лікарських рослин, які широко використовуються в медицині та фармакології. Дослідження впливу фторидів на такі види, як *Calendula officinalis* L., *Borago officinalis* L. та *Mentha piperita* L., є актуальним, оскільки ці рослини мають цілющі властивості, інтенсивність яких залежить не тільки від рясності цвітіння, а й від стану листових пластинок та зовнішнього вигляду всієї рослини. Саме стан листових пластинок може бути показником стресостійкості рослин до певних факторів середовища і пов'язаний з загальною продуктивністю рослин.

Забруднення фторидами може суттєво змінити якість фотосинтетичної активності рослин і відповідно їхні лікувальні властивості, що вимагає дослідження й розробки методів для зменшення цього впливу. До того ж ці види використовують в зовнішньому озелененні і можуть бути елементами таких композицій як міксбордер, клумба та садочок прямих трав.

Незважаючи на значну кількість досліджень, присвячених впливу фторидів на сільськогосподарські культури, дані щодо впливу цього елемента на лікарські рослини є обмеженими. Тому актуальним є вивчення реакції лікарських рослин на забруднення ґрунтів фторидами.

**Об'єкти дослідження:** лікарські рослини – *Calendula officinalis* L., *Borago officinalis* L., *Mentha piperita* L.

**Предмет дослідження:** ростові параметри та фізіологічні зміни *C. officinalis* L., *B. officinalis* L., *M. piperita* L. за умов фторидного забруднення ґрунту.

**Мета дослідження:** встановити вплив забруднення фторидами ґрунту на ростові параметри та біохімічні показники деяких видів лікарських рослин.

Відповідно мети роботи були поставлені наступні завдання:

1) дослідити та обґрунтувати зміну ростових параметрів (довжина стебла, довжина кореня) деяких видів лікарських рослин при різних концентраціях фторидів у ґрунті;



2) дослідити вплив забруднення ґрунту фторидом натрію на вміст хлорофілів *a* і *b* в листових пластинках досліджуваних рослин;

3) проаналізувати вплив різних концентрацій фториду натрію ґрунт на вологу та суху масу деяких видів лікарських рослин.

**Методи дослідження:** в магістерській роботі для виконання поставленої мети та завдань використовували спектрофотометричний метод для кількісного визначення вмісту хлорофілів, метод Даннета для виконання дисперсійного аналізу та порівняння середніх, статистичний метод для обробки результатів дослідження.

**Наукова новизна.** Досліджено ростові параметри коренів та стебел, стан асиміляційного апарату, вміст та співвідношення хлорофілів *a* і *b* деяких лікарських рослин, в разі забруднення ґрунтів фторидами.

**Практичне значення отриманих результатів.** Результати дослідження впливу фторидів на ростові параметри рослин, вміст хлорофілів та сухої і вологої маси рослин можуть бути інформативними та використаними для комплексних досліджень з відповідними видами лікарських рослин, під час підбору асортименту рослин для створення композицій в зовнішньому озелененні міст.

**Апробація результатів дослідження.** Результати кваліфікаційної роботи були оприлюднені у матеріалах IV Міжнародної науково-практичної конференції «Природничі науки та освіта: сучасний стан та перспектива розвитку» (7-8 листопада 2024 р), м. Харків та у матеріалах Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Колесніковські читання» присвяченої пам'яті проф. О. І. Колеснікова (19 листопада 2024 року) у м. Харкові.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

#### 1.1 Властивості фтору та його застосування

Фтор вважають небезпечним і фітотоксичним елементом серед інших забруднювачів повітря, води, продуктів харчування, ґрунтів тощо. На сьогодні спільної думки щодо впливу фтору на рослини не має, не дивлячись на його широке розповсюдження в природі.

Фторовмісний мінерал плавиковий шпат (або флюорит) був описаний в 1529 році німецьким лікарем і мінералогом Георгіусом Агріколою. У 1771 році шведський хімік Карл Вільгельм Шеєле отримав фтористоводневу кислоту в нечистому стані. У 1809 році була отримана майже безводна кислота, а через два роки французький фізик Андре-Марі Ампер припустив, що це сполука водню з невідомим елементом, аналогом хлору, яку він запропонував назвати фтором. Тоді плавиковий шпат був визнаний фтористим кальцієм.

Фторвмісний мінерал плавиковий шпат (флюорит,  $\text{CaF}_2$ ) протягом століть використовувався як флюс (очисний агент) у різних металургійних процесах. Назва плавикового шпату походить від латинського *fluere* - «текти».

Згодом мінерал виявився джерелом елемента, який отримав відповідно назву фтор. Виділення фтору довгий час було однією з головних невирішених проблем неорганічної хімії, і лише в 1886 році французький хімік Анрі Муассан підготував елемент шляхом електролізу розчину фтористого калію у фтористому водні.

Фтор (F) – це хімічний елемент з атомним номером 9, сьомої групи, другого періоду у періодичній системі хімічних елементів. Він належить до галогенів і має хімічний знак F. Фтор це блідо-жовтий газ зі специфічним різким запахом. Температура плавлення становить – 219,62 °C. Має високу хімічну активність і утворює сполуки з усіма хімічними елементами, крім гелію, неону і аргону. Взаємодія фтору з багатьма елементами, оксидами і солями, водою протікає дуже енергійно, а з воднем і вуглеводнями часто з 5 вибухом. У присутності фтору



більшість металів, C, Si, P, S і інші займаються при температурі 20-300°C і згоряють з утворенням фторидів.

Фтор має наступні характеристики: атомна маса: 18,998403 а. о. м. (г/моль); електронна конфігурація: [He] 2s<sup>2</sup>2p<sup>5</sup>; електронегативність: 3,98; температура плавлення: -219,6°C; температура кипіння: -188,1°C; ступінь окислення: 1

Фториди – це хімічні сполуки, які містять аніон фтору (F<sup>-</sup>). Вони утворюються в результаті реакцій між фтором та іншими хімічними елементами або сполуками.

Ізотопи фтору з масовими числами від 14 до 31 (кількість протонів 9, нейтронів від 5 до 22) та 2 ядерних ізомери. Одним стабільним ізотопом фтору є <sup>19</sup>F. Таким чином, фтор є моноізотопним елементом.

Фтор виникає внаслідок розчинення підземними водами багатих фтором порід, що містять такі мінерали, як амфіболи та біотит, зокрема в метаморфічних фундаментних породах, вулканічних породах, особливо тих, що мають лужний склад, і глинисті мінерали та слюди. Фторид у глибоких джерелах або мілководних підземних водах може виникати внаслідок скидання гідротермальних підземних вод із гірських порід на глибині, замикаючись через розломи на поверхню, а підвищені концентрації фтору можуть виникати в пізньому періоді на стадії гідротерм і пегматитової мінералізації [1].

Фтор є мікроелементом, необхідним для підтримки здорової та нормальної фізіології людини. Він є необхідним для формування емалі та має захисну дію проти остеопору.

Фтор у невеликій кількості міститься у всіх тканинах людини. У крові людини місткість фтору коливається в межах 0,03-0,07%. Значно більше його є в кістках (10-30 %) і особливо багато є в зубах (в емалі 120-150 мг %, в дентині близько 50 мг %). В кістках і зубах фтор знаходиться в нерозчиненому вигляді - фтор кальцієвої солі, фосфорної кислоти, фтор апарата. В організм фтор потрапляє безпосередньо з питною водою. Оптимальна місткість фтору у воді коливається в межах 0,5-1,2 мг в 1 літрі. В місцевостях, де місткість фтору у воді нижча і де харчові продукти бідні на фтор, часто зустрічається карієс зубів, але

надлишок фтору викликає друге захворювання – флюоз. Фтор відноситься до біомікроелементів і відіграє значну роль в розвитку і мінералізації кісток зубів. Відноситься до абсолютно необхідних для організму мікроелементів [2].

Фтор і фторид також використовуються у виробництві пестицидів, таких як сульфурилфторид, і в проміжний етап у збагаченні урану для ядерних реакторів. Вони також можуть потрапляти в навколишнє середовище під час виробництва фосфорних добрив, цегли, черепиці та кераміки.

Фторосилікатна кислота, гексафторосилікат натрію і натрію фторид використовується в муніципальних схемах фторування води. Фтор також має численні застосування в різних галузях промисловості. Наприклад виробництво фторполімерів Широко відомий тефлон політетрафторетилен (PTFE) який використовується як антипригарне покриття для посуду є одним із застосувань фтору, а також його використовують для електроізоляції та мастил.

Фтор й досі продовжує бути областю активних досліджень, вчені вивчають властивості та нові сфери застосування цього елемента. Однією з сфер є розробка нових фторвмісних матеріалів із покращеними властивостями, такими як термічна стабільність, електропровідність і механічна міцність тощо.

## **1.2 Вміст фтору у ґрунтах та його значення**

Кругообіг фтору в природі охоплює літосферу, гідросферу, атмосферу і біосферу. До атмосфери фтор транспортується вулканічними газами, випаровуванням, морськими аерозолями та промисловими забрудненнями. Фтор концентрується переважно на останніх етапах магматичного процесу, внаслідок чого вулканічні утворення збагачуються фтором, який входить до складу мінералів, розчинів і газових викидів. Типовою сполукою фтору у вивержених породах є фторапатит, який є головним джерелом фтору в біосфері. У процесі вивітрювання вивержених гірських порід фтор розчиняється у воді, з якою виноситься в моря та океани. Під впливом численних факторів фтор з поверхні океану надходить до атмосфери. Повітряними масами він переноситься на значні відстані та з опадами знову повертається на земну поверхню. Значні кількості



фтору з різноманітних виробництв потрапляють в атмосферу з димом та пилом або у водойми з виробничими стічними водами [3].

Фтор є необхідною поживною речовиною для рослин. Більшість фтору, що міститься в ґрунтах, міститься в мінералах або адсорбується на глинах і оксигідроксидах, лише кілька відсотків або менше розчиняється в ґрунтовому розчині. Понад 90 % природного вмісту фтору в ґрунтах нерозчинні або міцно зв'язані з частинками ґрунту. У більшості ґрунтів фтор пов'язаний зі слюдами та іншими глинистими мінералами. Загальна концентрація фтору в ґрунтах коливається від 20 до 1000 мкг/г на територіях без природних фосфатів або фторидні родовища, тоді як органічні ґрунти зазвичай нижчі. Більш високі рівні фтору також можуть виникати, якщо використовуються фосфорні добрива, де вугільні електростанції або де розташовані промислові підприємства, що виділяють фторид [4].

Високі концентрації фтору присутні в гранітах, кислі, кварцові монцоніти, сієніти, біотит і гранодіорити. Фторвмісні породи такі як мусковіт, пегматити, амфіболіти, біотит слюди постачають фтор у підземні води та ґрунт різні процеси, такі як ґрунтоутворення та вивітрювання [5]. Є також антропогенні джерела фтору, такі як викид водню фтору (HF) до повітря, фторування питної води, індустріалізація [6]. Фосфорні добрива є основним промисловим джерелом фтору. Значна кількість фтору, наприклад, 3,5%, міститься в добриві, виготовленому з фосфоритів [5].

Фтор потрапляє в ґрунт різними шляхами, такими як сухе осадження, опади та із забрудненою підстилкою, де він легко поглинається. Поглинутий фтор збільшує загальну концентрацію розчинного F у ґрунті, впливає на рН ґрунту та може поєднуватися з токсичними елементами, такими як алюміній і важкі метали. Фтор може існувати як вільний фторид-іон ( $F^-$ ) або утворювати комплекси з такими елементами, як залізо (Fe), бор (B), кальцій (Ca) і алюміній (Al), причому найбільш поширеними є комплекси Al і F [7].

Найнижчий вміст фтору зазвичай присутній у піщаному ґрунті у відносно вологому середовищі, тоді як вищі концентрації фтору містяться в ґрунті

вивітрених мафічних порід і у важкому глинистому ґрунті. Більша частина фтору, що міститься в ґрунтах, адсорбується на глинах і оксигідрооксидах, міститься в мінералах і лише невеликий відсоток розчиняється в ґрунтовому розчині. Рухливість фтору в ґрунті значною мірою залежить від сорбційної здатності ґрунту, яка змінюється залежно від рН, типів присутніх сорбентів і солоності ґрунту. У більшості випадків ґрунти діють як поглиначі, а не джерело  $F^-$  і вода, що досягає рівня ґрунтових вод, ймовірно, матиме низьку концентрацію  $F^-$  і буде домінувати через атмосферні концентрації [8].

Набагато менше відомо про хімію та адсорбцію фтору в органічних горизонтах і торф'янистих ґрунтах. Значна частина земної поверхні вкрита органічною речовиною – підстилкою, перегноєм і торфом – але є відносно мало інформації про вміст фтору або хімічний склад цих матеріалів. За відсутності забруднення повітря двома основними джерелами фтору в органічних матеріалах є атмосферні відкладення та сліди мінералів, тому концентрація буде низькою в не промислових зонах [9].

Солоні ґрунти представляють особливий випадок, оскільки рН високий, а домінуючим обмінним катіоном є натрій, а не кальцій. Як наслідок, частка водорозчинного фтору в засолених ґрунтах вище, ніж у незасолених ґрунтах, і частка збільшується з відсотком сайтів катіонного обміну, які зайняті натрієм [9]. При вищій дозі фтору рН ґрунту змінюється на лужний, що сприяє вивільненню більшої кількості фтору з поверхні ґрунту, а згодом підвищується доступність рослин [10]. Фторид у лужних ґрунтах при рН 6,5 і вище майже 9 повністю фіксується у ґрунтах у вигляді фториду кальцію, якщо доступна достатня кількість карбонату кальцію [11].

Розчинні сполуки фтору легко переміщуються по ґрунтовому профілю і можуть потрапляти в ґрунтові води, а з них – у поверхневі водойми. Міграції фтору сприяє склад ґрунту: у кислих та збіднених на вміст гумусу ґрунтах, які поширені в західних регіонах України, процеси міграції фтору посилюються оскільки він не зв'язується ґрунтовими поглинальними комплексами. Відтак фтор стає доступним для кореневого живлення рослин [12].



Для підзолистих ґрунтів зони Полісся характерним є високий вміст кислоторозчинної форми фтору (4,6 мг/кг), при переході до зони Лісостепу і Степу спостерігається збільшення водорозчинного фтору (до 7,0 мг/кг) і, особливо, лугорозчинного фтору (з 1,7 до 12,1 мг/кг). Для більшості ґрунтів зони Полісся і Лісостепу характерним є зменшення водорозчинної, кислоторозчинної та лугорозчинної форм фтору від гумусово-елювіальних горизонтів до материнської породи. Для ґрунтів зони Степу відмічена зворотна залежність – з переходом до материнської породи вміст рухомого фтору збільшується у 1,6-7,6 раз [13].

Найбільш вагомим джерелом зростання вмісту фтору в ґрунтах є внесення фосфорних мінеральних добрив. За оцінками різних авторів, щорічно з фосфоровмісними добривами в ґрунт надходить від 2 до 30 кг фтору на гектар, що збільшує загальний вміст елементу на 3-5 % за рік. Застосування різних доз мінеральних добрив, які містять фторидні сполуки, не завжди зумовлює вірогідне підвищення загального вмісту фтору в ґрунтах, але у більшості випадків призводить до збагачення ґрунтів розчинними формами елементу [14].

Забруднення ґрунту фтором і кадмієм знижує рН (близько 5% і 3% відповідно). Обробка, пов'язана з використанням біовугілля, покращує ріст рослин шляхом зменшення кількості фтору та кадмію в ризосфері та підвищення доступності води і поживних речовин для рослин. Рівень рН і здатність до катіонного обміну ґрунту підвищені за допомогою біовугілля. Підвищення рН ґрунту за допомогою біовугілля пов'язане з лужною природою цієї органічної речовини. Поліпшення здатності катіонного обміну ґрунту у відповідь на обробки, пов'язані з використанням біовугілля та зі збільшенням надходження в ризосферу поживних речовин, таких як кальцій і магній [15].

### **1.3 Вплив фтору на ростові параметри рослин**

Рослини поглинають фтор із води та ґрунту через коріння та повітря через листя, накопичують фтор у різних частинах рослини та отримують фтор на вищому рівні, ніж у навколишньому середовищі [16]. Накопичення фтору в

рослинах залежить від різних факторів, таких як концентрація фтору в ґрунті, види рослин і властивості ґрунту. Фтор в ґрунті оточує коріння та порушує біохімічну, морфологічну та фізіологічну поведінку рослин [17].

В.І. Тригуб у своїх роботах вказує на невизначеність необхідності фтору для життєдіяльності рослин [18]. Існує два основних шляхи впливу фтору на рослини. Перший шлях впливу – через продихи, які відповідають за перехід повітря в клітини рослини. Фторид переміщується в потоці транспірації до кінчиків листових пластинок, де він накопичується і може спричинити фізіологічні, біохімічні та структурні зміни, а іноді й загибель клітин [19]. Другий шлях впливу фтору – поглинання за допомогою коренів рослин, якщо ґрунт забруднений. Поглинання фтору рослинами залежить від кількох параметрів, таких як рН ґрунту, вид рослин, активність фтору та його складу [20].

Зазвичай симптоми пошкодження фтором з'являються на листках рослин – крайовий і верхівковий некроз, що поширюється всередину. На постраждалих рослинах зазвичай видно мертві ділянки і кінчики листя, які стають жовтими або коричневими, а іноді можуть стати сухим і ламким. Подібні симптоми спостерігаються у рослин зі стресом від посухи або рослинами, які страждають від токсичності солі [21].

Хронічна дія флуоридної кислоти (HF) викликає у рослин хлороз вздовж жилок листків, гостре пошкодження, HF-некроз по краях листів, що починається з верхівки листка і розповсюджується до його основи, внаслідок чого листки деформуються. У широколистяних рослин некроз починається з верхівки листків і розповсюджується до меж листової поверхні. Серед однодольних як рослина індикатор широко застосовується гладіолус. В залежності від сорту рослини некротичне забарвлення її листків змінюється від білого до рудувато-бурого і бурого від верхівки листка до основи, чітка темно-бура смуга відділяє межу мертвої тканини від живої. Подібні ознаки пошкодження спостерігаються у тюльпана, півників, лілії. У хвойних рослин з'являються голки з обпаленими верхівками, краями або повністю обпалені. Особливістю дії HF є його здатність накопичуватися у найбільших кількостях у країв і у верхівках листків [22].



Деякі рослини, що містять більш високі концентрації фтору, не виявляють симптомів токсичності, але більшість рослин демонструють симптоми токсичності при дуже низькій концентрації. Більшість рослин вразливі до фтору, оскільки він змінює послідовність і шлях метаболічних шляхів. Отже, це негативно впливає на ріст, проростання, дихання, розмноження, засвоєння білків і амінокислот, урожайність культур і фотосинтез [23].

Деякі види рослин здатні накопичувати високі дози фтору і за систематичного потрапляння в організм тварин викликати захворювання флюороз. Фтористі сполуки є високотоксичними для рослин. Часті випадки повної загибелі листя дерев поблизу заводів, які викидають в атмосферу фтористий водень і чотири фтористий кремній. Згубна дія фтору на рослини підсилюється при високій вологості повітря й опадах [24].

Досліджено токсичність фториду калію, фториду натрію та фториду амонію для гороху, кукурудзи, вівса та цибулі. Встановлено, що рівень токсичного впливу зростає зі збільшенням концентрації фтору в середовищі росту (від 5 до 100 мг F–/л). За збільшенням токсичного впливу сільськогосподарські культури розташовуються в такому ряду: овес < цибуля < 12 кукурудза < горох. Фторид амонію виявляє меншу токсичність, ніж фториди калію і натрію. За низьких концентрацій фтористих сполук (5 і 10 мг F–/л) стимуляція росту коренів відзначається лише для вівса [8].

Доступність фтору для рослин залежить як від ґрунтових факторів, так і від біологічних – виду рослини, стадії її розвитку тощо. Відомо, що особливу небезпеку для рослин становлять саме рухомі водорозчинні форми (фториди лужних металів), так як вони пасивно і легко переносяться з ґрунту в рослинні тканини. Наприклад, квасоля, спаржа, капуста, морква, цибуля, верба – стійкі до забруднень фторидами. Особливою стійкістю до негативного впливу фторидів вирізняється гречка. Чутливість до дії фторидів в неї з'являється тільки при їх концентрації в ґрунті 900 мг/кг. Інші культури, такі як кукурудза, ячмінь, петрушка, гладіолуси, абрикоса, сосна, навпаки – чутливі [25].

Встановлено, що на фотосинтез впливає токсичність фтору, яка перевищує пороговий рівень. Порогова концентрація фтору, вище якої пригнічується фотосинтез, варіює у різних видів рослин. При дуже високій концентрації фтору в тканинах рослин чистий фотосинтез порушується, але при дуже низькій концентрації він має незначний вплив на фотосинтез [26].

У дослідженні Р. Sachan та N. Lal відмічена стимуляція довжини коренів і пагонів ячменю при концентрації NaF 1,0 мМ, на відміну від показників для нуту. Більш високі рівні NaF пригнічують довжину та біомасу тканин коренів і пагонів обох культур. Порівняння фотосинтетичних пігментів у нуту виявило збільшення загального хлорофілу, хлорофілу а і b і каротиноїдів порівняно з контролем, тоді як синтез усіх цих пігментів був знижений у випадку ячменю зі збільшенням концентрації NaF. Це дослідження показало, що нут більш чутливий до токсичної природи фтору (F), ніж ячмінь під час проростання та на стадії сходів [27].

У дослідженнях Ю.Г. Приседського встановлено, що ростові процеси декоративних рослин, таких як агератум Гаустона та льон звичайний не мають вірогідних змін за умов внесення у ґрунт фториду та сульфіту натрію. Серед квітково-декоративних рослин найбільш чутливими до забруднення ґрунту виявилися жоржина звичайна [28].

Досліджений вплив фтору на декоративні хвойні та листяні дерева і чагарники. Зміни особливо помітні на деревах у містах. Фітотоксичність фтору проявляється в бурому забарвленні листової пластини. У хвойних плями темніші від буро-червоного до чорного кольору. Вважається, що хвойні дерева більш чутливі до дії фтору, ніж листяні породи [29, 30].

Вміст фтору в листках рослин викликає зміни активності антиоксидантних ферментів і вмісту флавоноїдів, фенолів і аскорбінової кислоти [31]. Стрес, викликаний фтором, може призвести до перетворення глюкози, фруктози та манози в рослинних тканинах на сахарозу та рафінозу. Цей процес може являти собою механізм, прийнятий рослинами для зниження токсичності фтору [32].



Досліджений вплив фторидів на фізіологічні процеси оливкових рослин. Найвище зниження активності антиоксидантних ферментів і вмісту мінералів, а також збільшення маркерів окисного стресу, таких як перекис водню спостерігали саме у оливкових рослин [33].

Вплив фториду натрію (NaF) на схожість насіння та біохімічні показники вивчали на вирощеній *in vitro* розсаді кавуна (*Citrullus lanatus*) за обробки саліциловою кислотою. Спостерігалось зниження відсотка проростання насіння, довжини коренів і пагонів, індексу енергії, вмісту пігменту, індексу стабільності хлорофілу та індексу стабільності мембран зі збільшенням концентрації NaF [34].

Проводились дослідження з різними сортами морозостійкої пшениці. Зниження схожості, пригнічення росту коренів і пригнічення активності каталази в ембріонах і коренях було виявлено для всіх досліджуваних сортів озимої пшениці. Зміни активності пероксидази, індуковані NaF, залежали від сорту озимої пшениці [35].

В результаті проведення досліджень впливу фтору на чайні рослини. Встановлено, що ці види рослин здатні переносити більш високий рівень фтору, ніж більшість інших рослин [36].

Рослини мають механізми антиоксидантного захисту, що включають ферменти каталазу, пероксидази та неферментативні компоненти. Антиоксидантна обробка постійно захищає клітини від перекисного окислення ліпідів, спричиненого впливом F, що свідчить про те, що окисне пошкодження є основним способом дії фтору. Багато дослідників вивчали несприятливий вплив фтору на метаболічні процеси рослин через вплив на ці антиоксидантні ферментні системи. Відмічено, що в листових пластинках шовковиці, зі збільшенням фтору рівень глутатіону змінюється, що призводить до надмірного виробництва активних форм кисню на мітохондріальному рівні, до пошкодження клітинних компонентів [37].

В роботі Аджу Метью Джордж та Анжели Назар, досліджена стійкість рослин до фтору. Відповідно до проведених досліджень важливою умовою для

фіторе mediaції є стійкість рослин до цього елемента, а саме інвазійних видів рослин [38].

У роботах Наба Кумар Мондал наведені результати впливу та особливості адсорбції фтору лишайниками. Проведені дослідження вказують на те, що лишайники можуть бути недорогим і ефективним адсорбентом фтору з водних розчинів. У результаті повного дослідження адсорбції було виявлено, що біомаса лишайників демонструє видалення фтору приблизно на 94,50 % при рН 8 [39].

Фіторе mediaційний потенціал *Landoltia punctata* був досліджений в роботах Аманди Ф. Брага, Аліссон Карраро Борхес та інших авторів. Видалення фтору з розчину було пов'язано з максимальним поглинанням його *L. punctata*, який продемонстрував також хороші темпи росту та середнє збільшення біомаси [40].



## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИ, МЕТОДИКИ ТА ОБ'ЄКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1 Методи та методики досліджень

В магістерській роботі досліджували вплив фторидного забруднення ґрунту на зміни ростових та біохімічних параметрів деяких видів лікарських рослин, а саме календули лікарської – *Calendula officinalis* L., м'яти перцевої – *Mentha piperita* L. та огірочника лікарського – *Borago officinalis* L. Досліди проводили в лабораторії кафедри ботаніки та екології в трикратній повторюваності для п'яти варіантів концентрацій фториду натрію для кожного виду рослин.

Для експерименту використовували чорнозем опідзолений, попередньо висушений, просіяний. У ґрунт вносили відповідну наважку фториду натрію та ретельно перемішували, зважували і розсипали у горщики. Кожному горщику надавали відповідний номер варіанту. Контрольним варіантом слугували горщики з ґрунтом без внесення фториду натрію.

Таблиця 2.1 – Концентрації фториду натрію (NaF)

| Номер варіанту | Доза йонів фтору у ґрунті, мг/кг | Наважка NaF, мг/кг |
|----------------|----------------------------------|--------------------|
| К              | 0                                | 0                  |
| 1              | 25                               | 74,6               |
| 2              | 50                               | 149,2              |
| 3              | 75                               | 223,8              |
| 4              | 100                              | 298,4              |

Енергію проростання визначали для *C. officinalis* L., на 7 день, для *M. piperita* L. та *B. officinalis* L. – на 10 день. Насіння досліджуваних рослин попередньо пророщували в чашках Петрі на фільтрувальних дисках, зволожуючи їх за потреби [41]. Потім, насіння, що проросло переносили у відповідні горщики в кількості по 5 рослин.

Вирощували рослини протягом 30 днів при температурі 20-22 °С та вологості ґрунту 70 % загальної вологоємності. Кожні 7 днів знімали показники росту дослідних рослин. По закінченню терміну спостереження вимірювали ростові параметри наземної та підземної частини рослин, а саме довжину кореня та стебла. Також визначили вміст хлорофілу а та b у листових пластинках, суху і вологу масу.

*Вимірювання ростових параметрів рослин.* Ростові параметри вимірювали за допомогою лінійки, а саме загальну довжину підземної частини рослини, тобто кореневої системи, від основи стебла до кінчиків коренів та висоту надземної частини рослини, тобто довжину стебла від кореневої шийки до верхівки [42].

*Визначення індексу пригнічення ростових параметрів.* За отриманими даними ростових параметрів розраховували індекс пригнічення росту за формулою:

$$I = l_{\text{досл}} / l_{\text{контр}}, \quad (2.1)$$

де  $I$  – індекс пригнічення росту;

$l_{\text{досл}}$  – довжина органу рослини у дослідних варіантах, см;

$l_{\text{контр}}$  – довжина орган рослини у контрольному варіанті, см.

Згідно з формулою, показники індексу пригнічення, менші за 1, відповідали пригніченню, а більші за 1 – стимулюванню росту кореня та стебла [43].

*Кількісне визначення вмісту хлорофілу спектрофотометричним методом.* Вимірювання проводили за допомогою спектрофотометра Granum 722.

Для визначення вмісту зелених пігментів в листових пластинках брали наважку (0,025–0,1 г) свіжого рослинного матеріалу і ретельно розтирали її у фарфоровій ступці з невеликою кількістю розчинника (2–3 мл) та крейди ( $\text{CaCO}_3$ ) або вуглекислого магнію ( $\text{MgCO}_3$ ). Ступку закривали скляною кришкою чашки Петрі зі скла, або пластинкою, і настоювали цей вміст протягом 2-3 хвилин. Гомогенат переносили на скляний фільтр Шотта № 3 або № 4 (діаметр пор 40 або 16 мкм), який вставляли в колбу Бунзена, з'єднану з 17 вакуумним насосом, і фільтрували. Екстракцію повторювали декілька разів до



повного знебарвлення рослинного матеріалу. Фільтрат кількісно переносили у мірну пробірку і об'єм фільтрату доводили до 10 мл розчинником. В отриманій витяжці містилися суміш зелених та жовтих пігментів. Далі визначали оптичну густину розчину пігментів, встановлюючи довжини хвиль залежно від використаного розчинника [44].

Під час використання даної методики використовували розчинник етанол 96%. Довжина хвиль – хлорофіл а – 665 нм, хлорофіл b – 649 нм. Концентрацію пігментів визначали за формулою Вінтерманс де Мотса:

$$Cchl\ a = 13,70 * D665 - 5,76 * D649, \quad (2.2)$$

де  $Cchl\ a$  – це концентрація хлорофілу а (мг/л);

$D665$  – це оптична щільність (абсорбція) при довжині хвилі 665 нм (нанометрів);

13,70 – це коефіцієнт, який відображає чутливість хлорофілу а до світла з довжиною хвилі 665 нм;

5,76 – це коефіцієнт, який компенсує внесок хлорофілу b при цій довжині хвилі (665 нм), оскільки хлорофіл b також частково поглинає світло на цій довжині хвилі.

$$Cchl\ b = 25,80 * D649 - 7,60 * D665, \quad (2.3)$$

де  $Cchl\ b$  – це концентрація хлорофілу b (мг/л).

$D649$  – це оптична щільність (абсорбція) при довжині хвилі 649 нм.

25,80 – це коефіцієнт, який відображає чутливість хлорофілу b до світла з довжиною хвилі 649 нм.

7,60 – це коефіцієнт, який компенсує внесок хлорофілу а при цій довжині хвилі (649 нм).

Вміст хлорофілів в рослинному матеріалі обчислювали за формулою:

$$A = (C * V) / (n * 1000), \quad (2.4)$$

де  $A$  – вміст пігментів в рослинній тканині, мг/г сирової ваги;

$C$  – концентрація пігментів у витяжці, мг/л;

$V$  – об'єм витяжки пігментів, мл;

$n$  – наважка рослинного матеріалу, г [44].

*Визначення сухої та вологої маси рослин.* Попередньо провели зважування пустих бюксів, в які потім поміщали подрібнений матеріал рослин і залишали бюкси у сушильній шафі на добу і після зважували суху масу дослідних рослин [41].

*Статистичну обробку отриманих результатів* проводили за допомогою пакета програм для проведення статистичної обробки результатів біологічних експериментів. Проводили дисперсійний аналіз та порівняння середніх – метод Даннета. Дисперсійний аналіз застосовували для перевірки статистично значущих відмінностей між середніми значеннями в кількох групах одночасно.

Метод Даннета використовують коли є більше двох груп для порівняння із контрольною. Якщо  $D > D^D$ , то різниця між середнім значенням контрольної групи та відповідної експериментальної групи існує, отже вплив є статистично вірогідним [45, 46].

## 2.2 Об'єкти досліджень

Для визначення впливу фторидного забруднення ґрунту на лікарські рослини нами були обрані наступні об'єкти дослідження – *C. officinalis* L., *M. piperita* L. та *B. officinalis* L.

Нагідки лікарські (календула лікарська) *Calendula officinalis* L. належить до родини айстрових (*Asteraceae*). *C. officinalis* L. – трав'яниста однорічна рослина з прямим, розгалуженим вгорі стеблом, заввишки 40-70 см. Листки рослини чергові, нижні – обернено-яйцевидні, верхні – ланцетні. Квітки зібрані у верхівкові кошики, забарвлені у солом'яно-жовтий, червоно-помаранчевий колір. Крайні квітки – язичкові, утворюють плоди, серединні – трубчасті, безплідні. Період цвітіння починається з кінця червня і триває до осінніх заморозків. Вегетаційний період становить 65-75 днів. Плід – сім'янка, дозріває у серпні. *C. officinalis* L. Не вибаглива рослина до умов вирощування, добре росте на освітлених ділянках, забезпечених вологою [47].





Рисунок 2.1 Календула лікарська – *Calendula officinalis* L.

Батьківщина календули – Центральна та Південна Європа, Передня Азія та Близький Схід. У дикому вигляді нагідки лікарські ростуть у країнах Середземномор'я. Рослину широко культивують як декоративну у Європі та США. В Україні дикорослі нагідки не зустрічаються, проте її вирощують для медичних потреб, висаджують в групових насадженнях, бордюрах, мксбордерах [48].

Основною сировиною рослин *C. officinalis* L. є висушені суцвіття. Насіння *C. officinalis* L. збагачене жирною олією і алкалоїдами, корені використовують як джерело інуліну, сапоніни містяться у всіх органах цієї рослини [49].

Ряд фітохімічних досліджень продемонстрували наявність у рослині кількох класів хімічних сполук, таких як терпеноїди, хінони, кумарини, флавоноїди, ефірна олія, каротиноїди та амінокислоти [50, 51]. Передові аналітичні та фітохімічні методи, проведені на різних частинах рослин, підтверджують наявність різних хімічних компонентів, таких як ізорамнетин, рутин, кверцетин і глюкозид, які також використовуються в харчовій і косметичній промисловості [52].

Терапевтичний ефект застосування настоянки календули відомий при захворюваннях ротової порожнини та горла, зокрема гінгівітах, пародонтитах, ангіні, кандидозах у дітей, а також при різних формах блефариту. Для лікування пародонтиту ефективно також застосування настою *C. officinalis* на оливковій олії (1:10), при афтозному стоматиті – відвар суцвіть [53].

Аналіз високоефективної рідинної хроматографії показав, що екстракт квіток календули містить дев'ять різних активних сполук, у тому числі вітексин 11,40%, рутин 12,29%, кверцетин-3-3-галактозид 12,64%, лютеолін-7- глюкоза 9,27%, кверцетин-3-глюкозид 7,38%, кверцитрин 9,83 %, мірицетин 10 %, лютеолін 10,72 %, апігенін 7,08 % і кемпферол 9,37 % [54].

*Mentha piperita* L. належить до родини Губоцвіті - (*Lamiaceae*). Це багаторічна трав'яниста рослина з чотиригранним, галузистим, опушеним стеблом заввишки 30-55 см. Листки короткочерешкові супротивні, яйцевидноовдовжені або ланцетні, загострені на верхівці, край нерівномірно пилчастий. Запах сильний, ароматний. Квітки дрібні, майже стерильні, утворюють густе, колосовидне суцвіття. Чашечка більш-менш правильна, з десятима жилками і п'ятьма майже рівними зубцями. Віночок майже актиноморфний, лійковидний з чотирилопатеvim відгином. Чотири тичинки однакові по довжині. Плід – горішок. Цвіте в червні-липні [55].



Рисунок 2.2 М'ята перцева – *Mentha piperita* L.

*M. piperita* L. – світлолюбна, вологолюбна рослина. Листки м'яти містять ефірні олії, до складу яких входить ментол (50-80%), пінен, ментон, піперитон, лімонен, феландрен, цинеол, пулегон та інші, флавоноїди, бетаїн, каротин, дубильні речовини, урсолова і олеонолова та інші кислоти, крім того є флавоноїди, каротиноїди, гесперидин. У листках містяться макроеlementи [55].

М'ята помірно вибаглива до температурних умов росту. Протягом вегетаційного періоду оптимальна температура для росту, розвитку і



накопичення олії становить 18-22°C. Навесні вона починає рано вегетувати при температурі 2- 5°C, сходи витримують заморозки до - 4-6°C. М'ята – світлолюбна рослина і подекуди тіньовитривала. При незначному затіненні врожайність листків і вихід олії мало змінюються [56].

*Mentha piperita* L. – вологолюбна рослина. Вона особливо чутлива до умов забезпечення вологою в період від галушення до масової бутонізації. Дефіцит ґрунтової вологи в цей період вегетації зумовлює різке зниження формування надземної маси. Найкраще розвивається м'ята при вологості ґрунту 70-80% [56].

Листки м'яти містять до (2,75%) ефірної олії, до складу якої входить ментол (50-80%), пінен, ментон, піперитон, жасмин, лімонен, феландрен, цинеол, пулегон та інші, флавоноїди, бетаїн, каротин, дубильні речовини, урсолова і олеонолова та інші кислоти, крім того є флавоноїди, каротиноїди, гесперидин [55].

*Mentha piperita* L. володіє здатністю усувати спазми кишкового тракту, а також сильними антиоксидантними властивостями. У малих дозах вона заспокоює, а у великих – тонізує. Ментол, як основний компонент ефірної олії м'яти, використовують як рефлекторний судинорозширювальний засіб при стенокардії та хворобах, пов'язаних з спазмами судин головного мозку. Ефірна олія дає легкий знеболюючий ефект. Ментол знімає набряклість слизових оболонок носа. Листки м'яти входять до складу вітрогінних, заспокійливих чаїв, жовчогінного та шлункового чаю. М'ятну олію і ментол використовують самостійно або у складі комплексних лікувальних засобів: пектусин, валідол, оліметин, краплі Зеленіна, корвалол, м'ятні таблетки, уролесан, піносол. Ментол подразнює нервові закінчення виявляє, знеболюючу та антисептичну дію. Входить до складу препаратів алором, бом-бенге, бороментол, валокормід, гевкамен, каметон, камфомен, меновазин [55].

*Borago officinalis* L. – однорічна трав'яниста рослина родини шорстколистих – (*Boraginaceae*). Стебла прямі або висхідні, товсті, всередині порожнисті, розгалужені, 30-60 см заввишки. Листки великі, м'ясисті, почергові, прості, мають гострий і сильний аромат свіжих огірків. Прикореневі й нижні стеблові

листки – еліптичні або овальні, на верхівці – тупі, до основи звужені в черешки; верхні стеблові – видовжено-яйцевидні, сидячі, стеблообгортні. Квітки двостатеві, правильні, в не багатоквіткових завійках, які складають щитковидно-волотевидне суцвіття. Чашечка глибоко п'яти-роздільна [55].



Рисунок 2.3 Огірочник лікарський - *Borago officinalis* L.

Віночок зрослопелюстковий, темно-блакитний, рідко – білуватий, 2,5-3 см у діаметрі, з короткою трубочкою і п'ятилопатеvim відгином. Віночок в 1,5-2 рази довший за чашечку. Плід сухий, складається з чотирьох повздовжньо зморшкуватих, яйцевидних горішків. Цвіте з червня по серпень. *B. officinalis* L. росте майже по всій території України на городах і забур'янених місцях. *B. officinalis* L. містить полісахариди, сапоніни, вуглеводи, слиз (30%), дубильні речовини (до 3%), ефірну олію, органічні кислоти (яблучна, лимонна), смоли, флавоноїди, алантоїн, каротин, аскорбінову кислоту, кремнієву кислоту, піролізидинові алкалоїди, солі Mg, Mn, K. Насіння містить олію до складу якої входить лінолева,  $\gamma$ -ліноленова, олеїнова та  $\alpha$ -ліноленова кислоти. Олія з насіння огірочника вживається для профілактики і допоміжної терапії, як гіпохолестеринемічний та гіпотригліцеридемічний засіб, підтримує функцію надниркової залози, особливо після стресів і прийому стероїдних препаратів [55]. Квітки *B. officinalis* L. містить фенольні речовини (галова кислота, пірогалол, саліцилова кислота, кавова кислота), флавоноїди (мірицетин, рутин) та ізофлавоноїди (дайдзеїн). Основними індивідуальними жирними кислотами квітки були  $\alpha$ -ліноленова, стеаридонова, пальмітинова, лінолева та  $\gamma$ -ліноленова



кислоти. Метаноловий екстракт квітів має значну антиоксидантну та антибактеріальну активність разом із слабкими протизапальними та протипухлинними властивостями [57].

Результати дослідження показали, що квітка *B. officinalis* L. має потенціал для застосування як нутрицевтик, дієтична добавка або лікувальна їжа, багата ймовірними антиоксидантними сполуками. Крім того, антибактеріальна активність у поєднанні з антиоксидантним потенціалом робить його корисним біоконсервантом для харчової промисловості для підвищення стабільності їжі проти патогенів і уповільнення процесу перекисного окислення ліпідів [57].

Огіркова трава *B. officinalis* L поширена в багатьох країнах, в іспанських регіонах, на острові Крит в Греції а також в деяких регіонах Італії її спеціально вирощують для їжі. Квітки огірочника виділяють рясний нектар, який використовують бджоли для вироблення смачного меду.

## РОЗДІЛ 3

### ВПЛИВ ФТОРИДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ НА РОСТОВІ ТА БІОХІМІЧНІ ПАРАМЕТРИ ДЕЯКИХ ВИДІВ ЛІКАРСЬКИХ РОСЛИН

#### 3.1 Ростові параметри деяких видів лікарських рослин за умов фторидного забруднення

Забруднення спричинені викидами роботи автотранспортних засобів, промислових підприємств мають негативний вплив на всі живі організми. Рослини, що ростуть на забруднених ґрунтах характеризуються пригніченим ростом та змінами фізіологічних процесів і ростових параметрів. Через відсутність даних про вплив фторидного забруднення на деякі лікарські рослини, актуальним було вивчити особливості ростових процесів *Calendula officinalis* L., *Borago officinalis* L., *Mentha piperita* L. внаслідок фторидного забруднення.

На рисунках (рисунок 3.1-3.3) зображені досліджувані лікарські рослини після тридцятиденного вирощування в забрудненому фторидами ґрунті з різною концентрацією. Літерою К, на фото, позначений - контроль, куди не вносились фториди.



Рисунок 3.1 *Calendula officinalis* L. на 31-й день експерименту



Різні види рослин по різному реагують на дію того чи іншого забруднювача, що призводить до формування реакцій організму, які можуть проявлятися у змінах фізіологічних процесів, морфологічної та анатомічної будови рослин

Тому першим етапом дослідження було визначити ростові параметри обраних рослинних об'єктів в результаті фторидного забруднення ґрунту при різних концентраціях.

На рисунку 3.2 зображений зовнішній вигляд рослин *Borago officinalis* L., в результаті дії різних концентрацій фторидів, внесених у ґрунт.



Рисунок 3.2 *Borago officinalis* L. на 31-й день експерименту

В результаті проведення експерименту видно, що рослини *Mentha piperita* L. найгірше реагували на фторидне забруднення ґрунту, про що може свідчити зовнішній вигляд рослин представлений рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 *Mentha piperita* L. на 31-й день експерименту

Для обробки результатів впливу забрудненого фторидами ґрунту на ростові параметри досліджуваних лікарських рослин проводили дисперсійний аналіз та порівняння середніх (метод Даннета). Результати дослідження представлені у таблицях 3.4 та 3.5.

Таблиця 3.1 – Вплив NaF на ростові параметри кореневої системи деяких лікарських рослин

| Номер<br>варіанту                                     | $M \pm m$        | D    | D <sup>D</sup> | % до<br>контролю |
|-------------------------------------------------------|------------------|------|----------------|------------------|
| 1                                                     | 2                | 3    | 4              | 5                |
| Календула лікарська - <i>Calendula officinalis</i> L. |                  |      |                |                  |
| К                                                     | $8,87 \pm 3,96$  | -    | -              | 100,0            |
| 1                                                     | $10,28 \pm 3,51$ | 1,41 | 3,13           | 115,8            |
| 2                                                     | $10,51 \pm 3,99$ | 1,64 | 3,13           | 118,4            |
| 3                                                     | $10,06 \pm 2,69$ | 1,18 | 3,13           | 113,4            |
| 4                                                     | $8,94 \pm 4,92$  | 0,07 | 3,13           | 100,7            |



Продовження таблиці 3.1

| Огірочник лікарський - <i>Borago officinalis</i> L. |             |      |      |       |
|-----------------------------------------------------|-------------|------|------|-------|
| К                                                   | 5,80 ± 2,67 | -    | -    | 100,0 |
| 1                                                   | 6,13 ± 2,86 | 0,32 | 1,99 | 105,6 |
| 2                                                   | 6,34 ± 1,41 | 0,53 | 1,99 | 109,3 |
| 3                                                   | 7,27 ± 2,55 | 1,46 | 1,99 | 125,3 |
| 4                                                   | 6,90 ± 2,57 | 1,10 | 1,99 | 118,9 |
| М'ята перцева – <i>Mentha piperita</i> L.           |             |      |      |       |
| К                                                   | 1,01 ± 1,06 | -    | -    | 100,0 |
| 1                                                   | 1,34 ± 1,03 | 0,33 | 1,11 | 132,6 |
| 2                                                   | 1,92 ± 1,34 | 0,91 | 1,11 | 190,0 |
| 3                                                   | 2,45 ± 1,80 | 1,44 | 1,11 | 242,5 |
| 4                                                   | 1,98 ± 1,52 | 0,97 | 1,11 | 196,0 |

Як показали результати досліджень у *C. officinalis* L. та *B. officinalis* L. не спостерігалось вірогідних змін ростових параметрів корневих систем, тоді як у *M. piperita* L. при концентрації 75 мг/кг спостерігали збільшення довжини корневих систем на 142,5% порівняно з контрольною групою, а при концентрації фторидів в ґрунті 100 мг/кг показник довжини кореня був більший за контрольні на 96%. Найнижчий показник був зафіксований у цього виду рослин при концентрації фторидів в ґрунті 25 мг/кг – 32,6 %.

Також у рослин *C. officinalis* L. вірогідного впливу на ростові параметри стеблової частини не спостерігалось, а у *B. officinalis* L. при концентрації фторид натрію 100 мг/кг спостерігали збільшення довжини стебла на 49,2% порівняно з контролем (таблиця 3.2). У всіх варіантах дослідження для *M. piperita* L., окрім концентрації 25 мг/кг, вплив на ріст стебла був наявний.

Таблиця 3.2 – Вплив NaF на ростові параметри надземної частини (стебла) деяких лікарських рослин

| Номер<br>варіанту                                     | $M \pm m$       | D     | D <sup>D</sup> | % до<br>контролю |
|-------------------------------------------------------|-----------------|-------|----------------|------------------|
| 1                                                     | 2               | 3     | 4              | 5                |
| Календула лікарська - <i>Calendula officinalis</i> L. |                 |       |                |                  |
| К                                                     | $4,88 \pm 1,37$ | -     | -              | 100,0            |
| 1                                                     | $5,18 \pm 1,36$ | 0,30  | 1,33           | 106,1            |
| 2                                                     | $5,58 \pm 1,47$ | 0,70  | 1,33           | 114,3            |
| 3                                                     | $4,93 \pm 1,31$ | 0,05  | 1,33           | 101,0            |
| 4                                                     | $4,86 \pm 1,70$ | -0,01 | 1,33           | 99,5             |
| Огірочник лікарський - <i>Borago officinalis</i> L.   |                 |       |                |                  |
| К                                                     | $2,66 \pm 0,91$ | -     | -              | 100,0            |
| 1                                                     | $2,60 \pm 1,05$ | -0,06 | 1,21           | 97,7             |
| 2                                                     | $3,14 \pm 1,74$ | 0,48  | 1,21           | 118,0            |
| 3                                                     | $2,88 \pm 0,76$ | 0,21  | 1,21           | 108,2            |
| 4                                                     | $3,97 \pm 1,78$ | 1,30  | 1,21           | 149,2            |
| М'ята перцева – <i>Mentha piperita</i> L.             |                 |       |                |                  |
| К                                                     | $1,12 \pm 0,82$ | -     | -              | 100,0            |
| 1                                                     | $2,05 \pm 1,91$ | 0,93  | 2,12           | 183,0            |
| 2                                                     | $3,44 \pm 2,92$ | 2,32  | 2,12           | 307,1            |
| 3                                                     | $3,32 \pm 1,92$ | 2,20  | 2,12           | 296,4            |
| 4                                                     | $4,86 \pm 4,26$ | 3,74  | 2,12           | 433,9            |

Після отримання даних про ростові параметри, розраховували індекс пригнічення росту коренів та наземної частини – стебла досліджуваних лікарських рослин. Визначені показники індексу пригнічення, менші за 1



приймали за ті, що відповідають пригніченню, а більші за 1 – відповідно стимулюванню росту.

Таблиця 3.3 – Індекс пригнічення росту коренів деяких лікарських рослин за різних концентрацій NaF

| Вид                             | Індекс пригнічення росту (коренева система) |      |      |      |      |
|---------------------------------|---------------------------------------------|------|------|------|------|
|                                 | варіант досліду                             |      |      |      |      |
|                                 | К                                           | 1    | 2    | 3    | 4    |
| <i>Calendula officinalis</i> L. | 1,00                                        | 1,28 | 1,24 | 1,13 | 1,01 |
| <i>Borago officinalis</i> L.    | 1,00                                        | 1,16 | 1,13 | 1,33 | 1,29 |
| <i>Mentha piperita</i> L.       | 1,00                                        | 1,33 | 1,90 | 2,43 | 1,96 |

З даних таблиці 3.3 видно, що найбільший показник індексу пригнічення росту кореневої системи, за концентрації фторид натрію 25 мг/кг та 50 мг/кг спостерігали у *M. piperita* L. і *B. officinalis* L і становив 1,33 відповідно. Найменший показник індексу пригнічення росту коренів відзначали у рослин *B. officinalis* L. – 1,16 при концентрації 25 мг/кг та у *C. officinalis* L. – 1,01 при концентрації 100 мг/кг. Найбільший показник індексу пригнічення кореневої системи спостерігали у *M. piperita* L. – 1,90 при концентрації йонів фтору у ґрунті 50 мг/кг.

Найбільший показник індексу пригнічення росту кореневої системи при концентраціях 75 та 100 мг/кг становив 2,43 та 1,96 відповідно і був наявний у рослин *M. piperita* L. У *C. officinalis* L. при концентрації 75 мг/кг показник індексу пригнічення росту кореневої системи склав – 1,13.

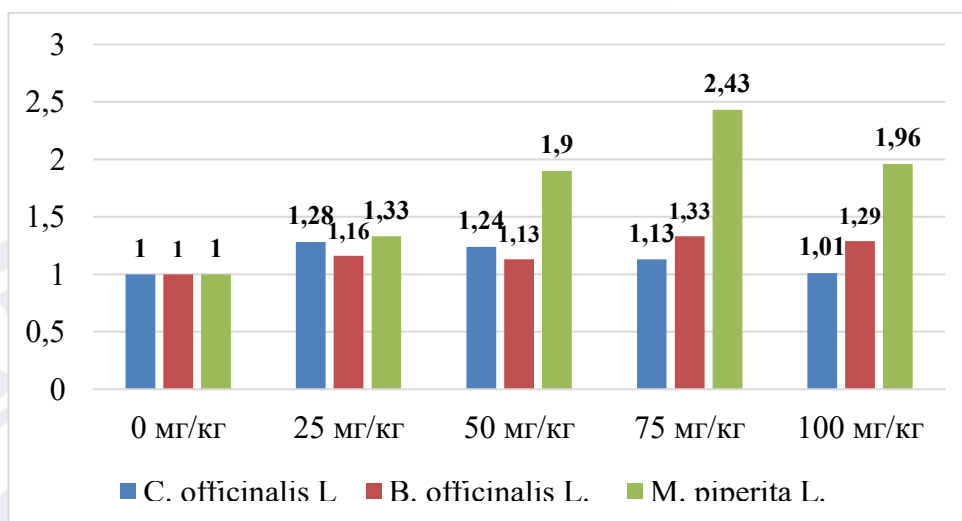


Рисунок 3.4 Індекс пригнічення росту кореневої системи досліджуваних видів

Наступним етапом експерименту було визначення індексу пригнічення ростових параметрів стебла за різних концентрацій NaF у ґрунті (таблиця 3.4). Так, з таблиці 3.4 видно, що незначний показник індексу пригнічення надземної частини спостерігали у *C. officinalis* L. при максимальній концентрації фториду натрію 100 мг/кг він становив 0,99, а найбільший показник у цієї рослини спостерігали при концентраціях 25 мг/кг - 50 мг/кг – 1,11 та 1,14 відповідно. У *B. officinalis* L. найнижчий показник індексу пригнічення стебла був при концентрації NaF 25 мг/кг та становив – 0,98, а найвищий при максимальній концентрації 100 мг/кг і становив – 1,52. У *M. piperita* L. при підвищенні концентрації NaF 50 мг/кг 75 мг/кг та 100 мг/кг, фіксували зростання показників індексу пригнічення, які мали наступні значення 3,11, 2,96 та 4,34 відповідно.

Таблиця 3.4 – Індекс пригнічення росту стебла деяких лікарських рослин за різних концентрацій NaF.

| Вид                             | Індекс пригнічення росту надземної частини |      |      |      |      |
|---------------------------------|--------------------------------------------|------|------|------|------|
|                                 | варіант дослідів                           |      |      |      |      |
|                                 | К                                          | 1    | 2    | 3    | 4    |
| <i>Calendula officinalis</i> L. | 1,00                                       | 1,11 | 1,14 | 1,01 | 0,99 |
| <i>Borago officinalis</i> L.    | 1,00                                       | 0,98 | 1,20 | 1,12 | 1,52 |
| <i>Mentha piperita</i> L.       | 1,00                                       | 1,83 | 3,11 | 2,96 | 4,34 |



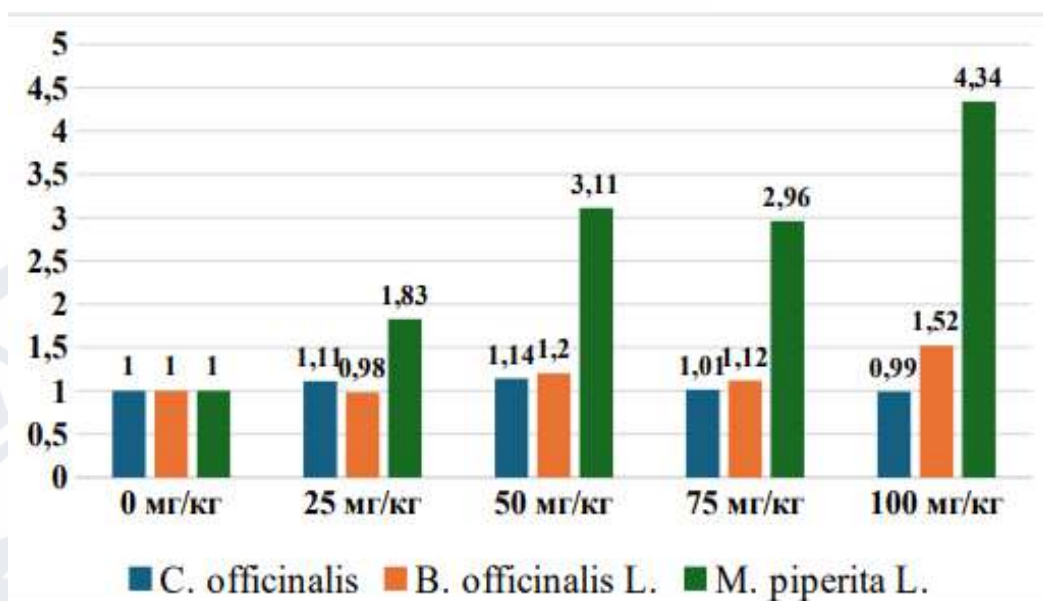


Рисунок 3.5 Індекс пригнічення росту надземної частини досліджуваних лікарських рослин при різних концентраціях NaF у ґрунті

На рисунках 3.4 та 3.5 видно, що у *C. officinalis* L. при нижчих концентраціях фторид натрію (25 мг/кг – 50 мг/кг) спостерігалась стимуляція ростових параметрів як кореневої системи так і надземної частини (стебла), а при вищих концентраціях NaF (50 мг/кг – 100 мг/кг) незначне пригнічення цих параметрів. *M. piperita* L. на відміну від *C. officinalis* L. демонструє стійку тенденцію до стимуляції росту під впливом фторидів у всіх досліджених варіантах. *B. officinalis* L. займає проміжне положення щодо інших рослин, так як спостерігається як стимуляція, так і незначне пригнічення росту в залежності від концентрації та органів рослин.

### 3.2 Вплив фторидного забруднення ґрунту на вміст хлорофілу *a* та *b* в листках деяких видів лікарських рослин

Забруднення ґрунтів фторидами може негативно впливати на кількість, вміст і роботу хлорофілу *a* та *b*. Зниження вмісту хлорофілів призводить до порушення фотосинтезу, що, в свою чергу, викликає загальне пригнічення росту рослин, зменшення врожайності та підвищення вразливості до інших факторів. В ході експерименту вивчали вплив фторидного забруднення на вміст хлорофілів *a* та *b* в листових пластинках досліджуваних рослин.

Таблиця 3.5 – Вплив фторидного забруднення ґрунту на вміст хлорофілу *a* у листових пластинках деяких видів лікарських рослин

| Номер<br>варіанту                                     | $M \pm m$       | D     | D <sup>D</sup> | % до<br>контролю |
|-------------------------------------------------------|-----------------|-------|----------------|------------------|
| 1                                                     | 2               | 3     | 4              | 5                |
| Календула лікарська - <i>Calendula officinalis</i> L. |                 |       |                |                  |
| К                                                     | $0,50 \pm 0,07$ | -     | -              | 100,0            |
| 1                                                     | $0,32 \pm 0,08$ | -0,18 | 0,08           | 64,0             |
| 2                                                     | $0,39 \pm 0,06$ | -0,10 | 0,08           | 78,0             |
| 3                                                     | $0,31 \pm 0,13$ | -0,19 | 0,08           | 62,0             |
| 4                                                     | $0,35 \pm 0,04$ | -0,14 | 0,08           | 70,0             |
| Огірочник лікарський - <i>Borago officinalis</i> L.   |                 |       |                |                  |
| К                                                     | $0,54 \pm 0,21$ | -     | -              | 100,0            |
| 1                                                     | $0,29 \pm 0,14$ | -0,25 | 0,15           | 53,7             |
| 2                                                     | $0,29 \pm 0,09$ | -0,25 | 0,15           | 53,7             |
| 3                                                     | $0,25 \pm 0,12$ | -0,28 | 0,15           | 46,3             |
| 4                                                     | $0,35 \pm 0,09$ | -0,19 | 0,15           | 64,8             |
| М'ята перцева – <i>Mentha piperita</i> L.             |                 |       |                |                  |
| К                                                     | $0,71 \pm 0,32$ | -     | -              | 100,0            |
| 1                                                     | $0,79 \pm 0,06$ | 0,08  | 0,36           | 111,2            |
| 2                                                     | $1,02 \pm 0,32$ | 0,31  | 0,36           | 143,6            |
| 3                                                     | $0,96 \pm 0,34$ | 0,25  | 0,36           | 135,2            |
| 4                                                     | $1,40 \pm 0,51$ | 0,69  | 0,36           | 197,1            |

Із таблиці 3.5 видно, що у *C. officinalis* L. при всіх концентраціях фторид натрію вміст хлорофілу *a* менший на 22-38% порівняно з контролем. У *B. officinalis* L. зі збільшенням концентрації фториду натрію вміст хлорофілу *a* збільшується, але він є меншим за контрольний показник. Так, при концентрації



NaF 25-50 мг/кг вміст хлорофілу *a* менший за контрольний показник на 46,3 %, при концентрації NaF 75 мг/кг вміст хлорофілу *a* менший за контроль на 53,7 % і відповідно при концентрації 100 мг/кг вміст хлорофілу *a* менший на 35,2 %. У рослин *M. piperita* L. вірогідний вплив фторид натрію спостерігається при найвищій концентрації 100 мг/кг. При концентрації фториду натрію 25-100 мг/кг вміст у *M. piperita* L. хлорофілу *a* перевищує контроль на 11,2 %, 43,6%, 35,2 %, 97,7 % при концентраціях 25 мг/кг, 50 мг/кг, 75 мг/кг та 100 мг/кг відповідно.

На наступному етапі експерименту ми досліджували вплив фторидного забруднення ґрунту на вміст хлорофілу *b*. Як видно з таблиці 3.6 у всіх дослідних рослин спостерігали зменшення вмісту хлорофілу *b* порівняно з контролем.

Таблиця 3.6 – Вплив фторидного забруднення ґрунту на вміст хлорофілу *b* у листових пластинках деяких видів лікарських рослин

| Номер варіанту                                        | $M \pm m$   | D     | D <sup>D</sup> | % до контролю |
|-------------------------------------------------------|-------------|-------|----------------|---------------|
| 1                                                     | 2           | 3     | 4              | 5             |
| Календула лікарська - <i>Calendula officinalis</i> L. |             |       |                |               |
| К                                                     | 0,45 ± 0,13 | -     | -              | 100,0         |
| 1                                                     | 0,27 ± 0,06 | -0,18 | 0,07           | 60,0          |
| 2                                                     | 0,22 ± 0,04 | -0,23 | 0,07           | 48,9          |
| 3                                                     | 0,13 ± 0,04 | -0,31 | 0,07           | 28,9          |
| 4                                                     | 0,19 ± 0,02 | -0,26 | 0,07           | 42,2          |
| Огірочник лікарський - <i>Borago officinalis</i> L.   |             |       |                |               |
| К                                                     | 0,38 ± 0,13 | -     | -              | 100,0         |
| 1                                                     | 0,20 ± 0,06 | -0,18 | 0,07           | 52,6          |
| 2                                                     | 0,21 ± 0,02 | -0,17 | 0,07           | 55,2          |
| 3                                                     | 0,19 ± 0,06 | -0,19 | 0,07           | 50,0          |
| 4                                                     | 0,20 ± 0,02 | -0,18 | 0,07           | 52,6          |
| М'ята перцева – <i>Mentha piperita</i> L.             |             |       |                |               |

Продовження таблиці 3.6

|   |                 |       |      |       |
|---|-----------------|-------|------|-------|
| К | $1,04 \pm 0,61$ | -     | -    | 100,0 |
| 1 | $0,44 \pm 0,07$ | -0,60 | 0,31 | 42,3  |
| 2 | $0,47 \pm 0,07$ | -0,56 | 0,31 | 45,1  |
| 3 | $0,44 \pm 0,12$ | -0,59 | 0,31 | 42,3  |
| 4 | $0,56 \pm 0,17$ | -0,47 | 0,31 | 53,8  |

Найбільш інтенсивне зменшення вмісту хлорофілу *b* спостерігали у *C. officinalis* L. на 71,1 % порівняно до контролю при концентрацією 75 мг/кг NaF. У *B. officinalis* L. зменшення хлорофілу *b* показано у всіх дослідних зразках майже на половину відносно контролю. У *M. piperita* L. найвищий показник вмісту хлорофілу *b* – 53,8% спостерігали у варіанті при концентрації 100 мг/кг NaF.

Таблиця 3.7 – Вміст і співвідношення хлорофілів *a* і *b* у листових пластинках деяких видів лікарських рослин

| Номер<br>варіанту                                     | Хлорофіл <i>a</i> | Хлорофіл <i>b</i> | Хлорофіл <i>a + b</i> | Хлорофіл <i>a/b</i> |
|-------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|---------------------|
| 1                                                     | 2                 | 3                 | 4                     | 5                   |
| Календула лікарська – <i>Calendula officinalis</i> L. |                   |                   |                       |                     |
| К                                                     | $0,50 \pm 0,07$   | $0,45 \pm 0,13$   | 0,95                  | 1,11                |
| 1                                                     | $0,32 \pm 0,08$   | $0,27 \pm 0,06$   | 0,59                  | 1,18                |
| 2                                                     | $0,39 \pm 0,06$   | $0,22 \pm 0,04$   | 0,61                  | 1,77                |
| 3                                                     | $0,31 \pm 0,13$   | $0,13 \pm 0,04$   | 0,44                  | 2,38                |
| 4                                                     | $0,35 \pm 0,04$   | $0,19 \pm 0,02$   | 0,54                  | 1,84                |
| Огірочник лікарський – <i>Borago officinalis</i> L.   |                   |                   |                       |                     |
| К                                                     | $0,54 \pm 0,21$   | $0,38 \pm 0,13$   | 0,92                  | 1,42                |
| 1                                                     | $0,29 \pm 0,14$   | $0,20 \pm 0,06$   | 0,49                  | 1,45                |



|   |                 |                 |      |      |
|---|-----------------|-----------------|------|------|
| 2 | $0,29 \pm 0,09$ | $0,21 \pm 0,02$ | 0,50 | 1,38 |
|---|-----------------|-----------------|------|------|

Продовження таблиці 3.7

|                                           |                 |                 |      |      |
|-------------------------------------------|-----------------|-----------------|------|------|
| 3                                         | $0,25 \pm 0,12$ | $0,19 \pm 0,06$ | 0,44 | 1,31 |
| 4                                         | $0,35 \pm 0,09$ | $0,20 \pm 0,02$ | 0,55 | 1,75 |
| М'ята перцева – <i>Mentha piperita</i> L. |                 |                 |      |      |
| К                                         | $0,71 \pm 0,32$ | $1,04 \pm 0,61$ | 1,75 | 0,68 |
| 1                                         | $0,79 \pm 0,06$ | $0,44 \pm 0,07$ | 1,23 | 1,79 |
| 2                                         | $1,02 \pm 0,32$ | $0,47 \pm 0,07$ | 1,49 | 2,17 |
| 3                                         | $0,96 \pm 0,34$ | $0,44 \pm 0,12$ | 1,40 | 2,18 |
| 4                                         | $1,40 \pm 0,51$ | $0,56 \pm 0,17$ | 1,96 | 2,50 |

Показники вмісту хлорофілів *a* і *b* представлені у таблиці 3.7. У рослин *C. officinalis* L. та *B. officinalis* L. спостерігали зниження вмісту хлорофілів *a* і *b* при концентраціях 25 - 100 мг/кг у всіх дослідних варіантах порівняно до вмісту хлорофілів у контрольних зразках обох рослин. Порівняння відношення хлорофілів *a/b* у *C. officinalis* L. показало, що при концентрації NaF (75мг/кг) зміни хлорофілу відбувались переважно через хлорофіл *b*, при інших концентраціях NaF переважно через хлорофіл *a* та *b*. Відношення хлорофілів *a* та *b* у контрольному зразку *M. piperita* L. відбувались переважно через хлорофіл *b*. У інших варіантах *M. piperita* L. в які вносились фториди відношення хлорофілів *a* та *b* відбувались переважно через хлорофіли *a* та *b*.

### 3.3 Визначення вологості та сухої маси деяких лікарських рослин

Волога маса це загальна маса рослини або її частини, включаючи всю воду так і суху речовину. Це фактично маса, яку ми вимірюємо, коли зважуємо свіжу рослину. Суха маса – це маса рослини або її частини, все що залишається після повного видалення всієї води шляхом висушування.

Через недостатню кількість матеріалу в контрольному зразку у всіх трьох повторях *M. piperita* L., не було можливо здійснити точне визначення сухої та вологої маси. Тому визначення показників сухої та вологої маси здійснювали для *C. officinalis* L. та *B. officinalis* L (таблиці 3.8-3.9).

Таблиця 3.8 – Визначення вологої маси досліджуваних рослин

| Номер<br>варіанту                                     | $M \pm m$       | D    | $D^D$ | % до<br>контролю |
|-------------------------------------------------------|-----------------|------|-------|------------------|
| 1                                                     | 2               | 3    | 4     | 5                |
| Календула лікарська - <i>Calendula officinalis</i> L. |                 |      |       |                  |
| К                                                     | $4,99 \pm 0,36$ | -    | -     | 100,0            |
| 1                                                     | $5,25 \pm 0,40$ | 0,25 | 1,65  | 105,2            |
| 2                                                     | $5,44 \pm 1,12$ | 0,44 | 1,65  | 109,0            |
| 3                                                     | $6,19 \pm 0,57$ | 1,19 | 1,65  | 124,0            |
| 4                                                     | $5,90 \pm 1,20$ | 0,90 | 1,65  | 118,2            |
| Огірочник лікарський - <i>Borago officinalis</i> L.   |                 |      |       |                  |
| К                                                     | $4,56 \pm 1,08$ | -    | -     | 100,0            |
| 1                                                     | $4,87 \pm 1,39$ | 0,31 | 2,02  | 106,8            |
| 2                                                     | $5,53 \pm 0,47$ | 0,97 | 2,02  | 121,2            |
| 3                                                     | $5,87 \pm 0,90$ | 1,30 | 2,02  | 127,7            |
| 4                                                     | $6,39 \pm 0,94$ | 1,87 | 2,02  | 140,1            |

Проведені дослідження показали, що забруднення ґрунту фторидом натрію в концентраціях від 25-100 мг/кг призводить до збільшення вологої маси як у рослин *C. officinalis* L., так і в *B. officinalis* L.

У *C. officinalis* L. спостерігається незначне підвищення вологої маси. Так при концентрації NaF 25 мг/кг волога маса збільшується на 5,2 % у порівнянні з контрольним зразком і це є найменшим показником збільшення для *C. officinalis* L.



При концентрації NaF 75 мг/кг спостерігається збільшення вологої маси на 24 % порівняно з рослинами, вирощуваними в не забрудненому ґрунті (контроль). У *B. officinalis* L. спостерігається загальна тенденція до збільшення вологої маси у всіх варіантах досліду у порівнянні з контролем. Так найбільший показник спостерігали при концентрації 100 мг/кг і становив на 40,1 % більше за контроль, а найменший показник збільшення вологої маси спостерігали при концентрації 25 мг/кг і це на 6,8 % більше за контроль.

При визначенні сухої маси досліджуваних видів отримали наступні результати (таблиця 3.9). Для *C. officinalis* L. та *B. officinalis* L. відмічали незначні зміни у сухій масі порівняно з контролем.

Таблиця 3.9 – Суха маса деяких видів лікарських рослин

| Номер<br>варіанту                                     | $M \pm m$       | D     | DD   | % до<br>контролю |
|-------------------------------------------------------|-----------------|-------|------|------------------|
| 1                                                     | 2               | 3     | 4    | 5                |
| Календула лікарська - <i>Calendula officinalis</i> L. |                 |       |      |                  |
| К                                                     | $0,59 \pm 0,04$ | -     | -    | 100,0            |
| 1                                                     | $0,46 \pm 0,08$ | -0,12 | 0,30 | 77,9             |
| 2                                                     | $0,58 \pm 0,10$ | -0,02 | 0,30 | 98,3             |
| 3                                                     | $0,60 \pm 0,04$ | 0,01  | 0,30 | 101,7            |
| 4                                                     | $0,57 \pm 0,24$ | -0,01 | 0,30 | 96,6             |
| Огірочник лікарський - <i>Borago officinalis</i> L.   |                 |       |      |                  |
| К                                                     | $0,43 \pm 0,12$ | -     | -    | 100,0            |
| 1                                                     | $0,45 \pm 0,11$ | 0,01  | 0,20 | 104,6            |
| 2                                                     | $0,42 \pm 0,01$ | -0,01 | 0,20 | 97,6             |
| 3                                                     | $0,43 \pm 0,08$ | -0,01 | 0,20 | 100,0            |
| 4                                                     | $0,39 \pm 0,05$ | -0,04 | 0,20 | 90,7             |

Відповідно найнижчий показник сухої маси – 77,9 % спостерігали у рослин *C. officinalis* L. при концентрації 25 мг/кг, що на 22,1 % менше за контроль, а у *B. officinalis* L. при концентраціях 50 мг/кг та 100 мг/кг показник сухої маси менше за контроль на 2,4% та 9,3 % відповідно. В цілому вірогідних змін значень сухої маси досліджених рослин не спостерігали.

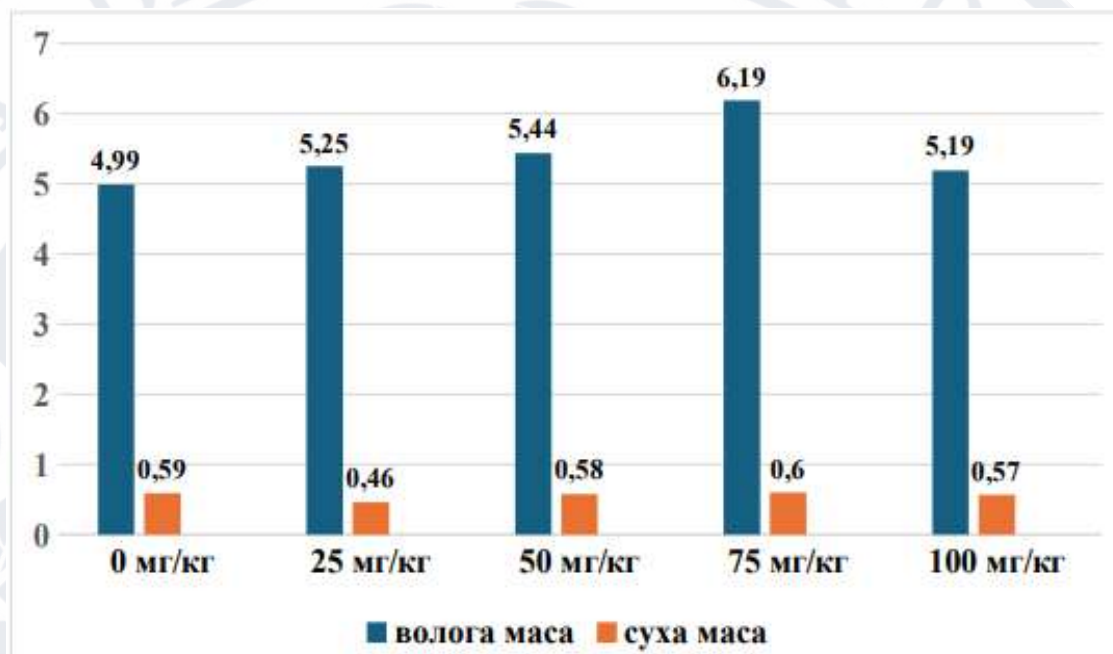


Рисунок 3.6 Співвідношення вологої та сухої маси *C. officinalis* L.

У ході проведеного дослідження було виявлено, що вплив фторидів натрію на показники лікарських рослин, таких як *C. officinalis* L. та *B. officinalis* L., має як позитивні, так і негативні наслідки.

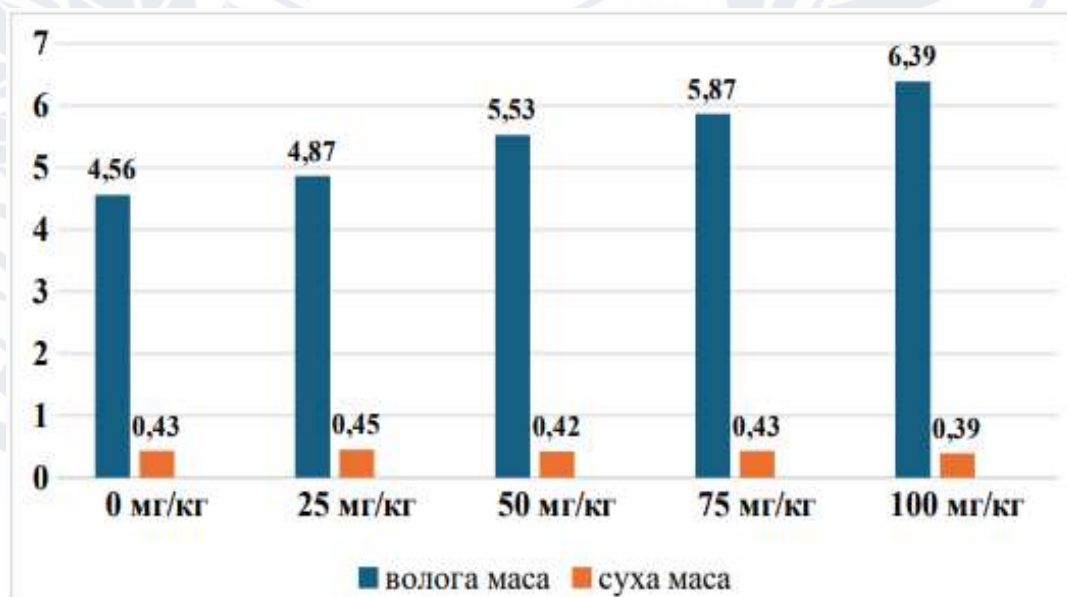
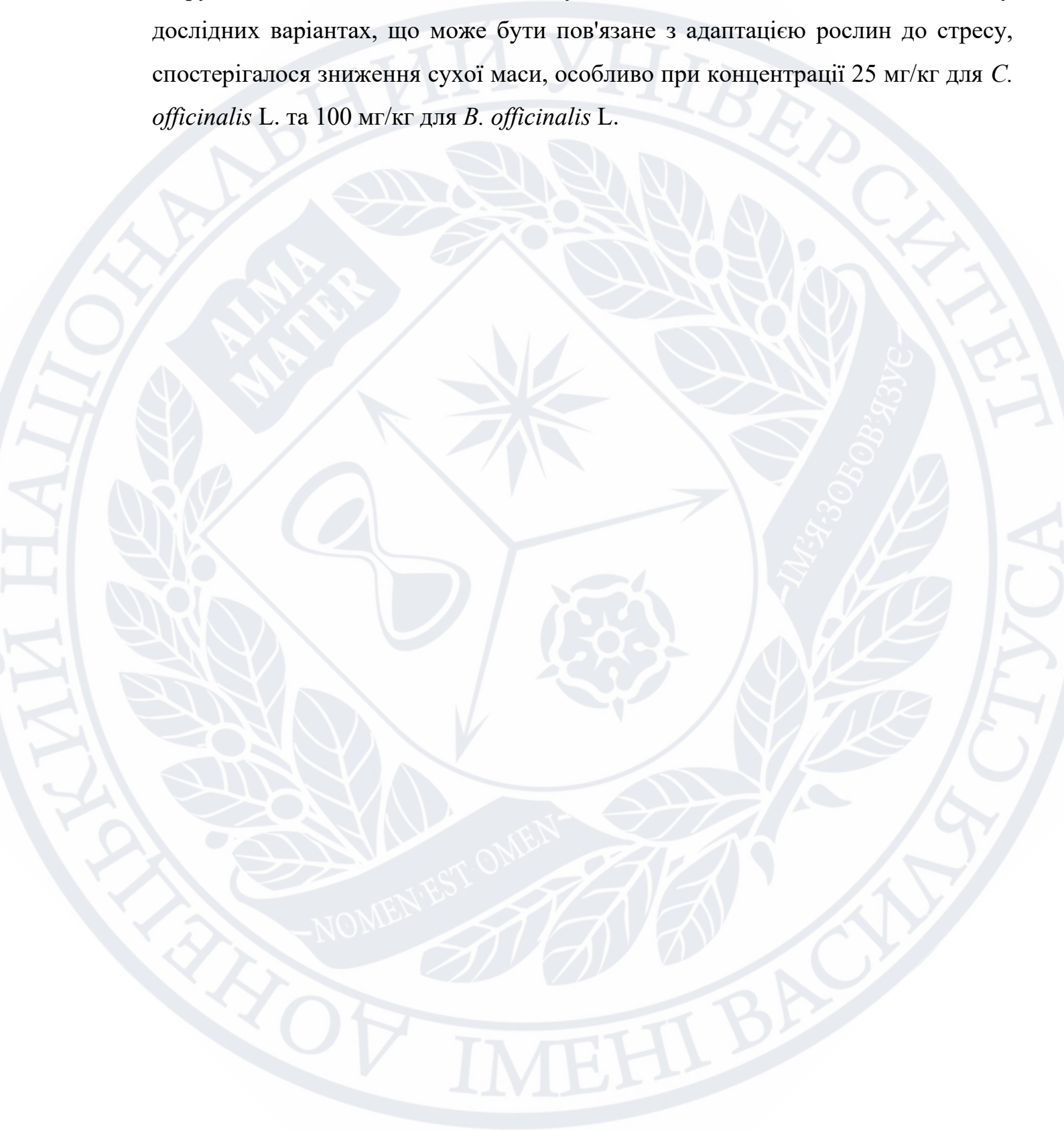


Рисунок 3.7 Співвідношення вологої та сухої маси *B. officinalis* L.



Майже усі варіанти виявили стійкість до різних концентрацій забруднювача. Незважаючи на загальну тенденцію до збільшення вологої маси у дослідних варіантах, що може бути пов'язане з адаптацією рослин до стресу, спостерігалось зниження сухої маси, особливо при концентрації 25 мг/кг для *C. officinalis* L. та 100 мг/кг для *B. officinalis* L.



## ВИСНОВКИ

1. Проведені нами дослідження показали, що фториди можуть як пригнічувати, так і стимулювати ріст рослин, залежно від концентрації забруднювача та органу досліджуваних рослин. Так, рослини *C. officinalis* L. виявили незначне збільшення довжини кореня та висоти стебла при низьких концентраціях фторидів, а при високих концентраціях – незначне пригнічення росту.

2. Вміст фторидів у чорноземі опідзоленому негативно вплинув на вміст хлорофілів *a* і *b* при всіх концентраціях фторидів, що може свідчити про порушення процесів фотосинтезу. У *M. piperita* L. спостерігалось збільшення вмісту хлорофілів *a* і *b*, що може вказувати на адаптаційні механізми даного виду до стресових умов.

3. Аналіз даних, отриманих в результаті визначення індексу пригнічення росту *C. officinalis* L. та *B. officinalis* L. показав незначне пригнічення росту кореневої системи при високих концентраціях фторидів. У *M. piperita* L. спостерігалось значне стимулювання росту при всіх концентраціях фторидів, крім найнижчої.

4. В результаті визначення сухої та вологої маси рослин встановили загальне збільшення вологої маси та зниження сухої маси при високих концентраціях фторидів у *B. officinalis* L. Найнижчий показник сухої маси - 77,9 % спостерігали у рослин *C. officinalis* L. при найменших концентраціях забруднювача. Визначення показників вологої та сухої маси для *M. piperita* L. не проводились, так як у контрольному зразку не було достатньо зеленої маси для виконання дослідів



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Shaji E., Sarath K.V., Santosh M., Krishnaprasad P.K., Arya B.K., Babu M. S. (2023). Fluoride contamination in groundwater: A global review of the status, processes, challenges, and remedial measures. *Geoscience Frontiers* 15(4) <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101734>
2. Титаренко А. В. Вплив вітамінів та мінералів на організм людини. Наукові записки: збірка наукових праць. Кіровоград : КНТУ, Вип. 11, ч. 3. 2011. С. 240-246.
3. Рудько Г.І., Мацієвська О.О. Розподіл фтору в природних водах. *Вісник національного університету «Львівська політехніка»*. 2010. № 664. С. 171–178.
4. Hong BD, Joo RN, Lee KS, Lee DS, Rhie JH, Min SW, Song SG, Chung DY. Fluoride in soil and plant. *Korean Journal of Agricultural Science* 43(4), 522-536.
5. Bhat N, Jain S, Asawa K, Tak M, Shinde K, Singh A, et al (2015). Assessment of fluoride concentration of soil and vegetables in vicinity of zinc smelter, Debari, Udaipur, Rajasthan. *J Clin Diagn Res* 9(10), 63-66. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2015/13902.6667>
6. Ghosh, A., Mukherjee, K., Ghosh, S.K. et al (2013). Sources and toxicity of fluoride in the environment. *Res Chem Intermed.* 39, 2881–2915 <https://doi.org/10.1007/s11164-012-0841-1>
7. Chatterjee, Nitin, Gayatri Sahu, Animesh Ghosh Bag, Biplab Plal, and G. C. Hazra. 2020. “Role of Fluoride on Soil, Plant and Human Health: A Review on Its Sources, Toxicity and Mitigation Strategies”. *International Journal of Environment and Climate Change* 10 (8):77-90. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2020/v10i830220>
8. Kumar B, Naaz A, Shukla K, Narayan C, Singh G, Kumar A. Spatial variability of fluorine in agricultural soils around Sidhi District, Central India. *Journal of Geological Society of India*, 87(2), 227-235.
9. Weinstein L. H. Uptake, transport and accumulation of inorganic fluorides by plants and animals (2004). *In book: Fluorides in the environment: effects on plants and animals*, P 21-55.

10. Saxena S, Rani A. Fluoride ion leaching kinetics for alkaline soils of Indian origin (2012). *Journal of Science Research Replica*, 29-40
11. Brewer RF. Fluorine. In Diagnostic criteria for plants and soil edited by Chapman HD. *University of California, Los Angeles, USA*, 1966a, 180-196.
12. Винявська Г.Ф. Аналіз природних і техногенно-екологічних ризиків при споживанні та кондиціюванні вод із підвищеним вмістом фтору *Вісник ЛДУБЖД*. 2011, №5. 161 с.
13. Ліщук А. М. Екотоксикологічна оцінка небезпечності фтору залежно від ґрунтово-кліматичних умов та застосування добрив: автореф. дис. на здобуття наук.ступеня канд.. с.-г. наук: спец. 06.00.16 екологія / А.М.Ліщук. К., 2004.
14. Макаренко Н.А. - Агроекологія. «Вплив добрив на екотоксикологічний стан ґрунту та якість продукції за вмістом фтору». 2005. 30с.
15. Farhangi-Abriz S and Ghassemi-Golezani K (2022) The modified biochars influence nutrient and osmotic statuses and hormonal signaling of mint plants under fluoride and cadmium toxicities. *Front. Plant Sci.*,13: .  
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1064409>
16. Anshumali B. (2014) Fluoride in agricultural soil: A review on its sources and toxicity to plants. *Glob. Sustain. Transit. Impacts Innov*, 3, 29-37.
17. Tylanda, C.A. (2003). Toxicological Profile for Fluorides, Hydrogen Fluoride, and Fluorine; Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Atlanta, GA, USA, 404.
18. Тригуб В.І. Фтор у системі «ґрунт-рослини»: екологічні аспекти / В. І. Тригуб // Вісник Одеського національного університету. Серія : Географічні та геологічні науки. 2014. Т. 19, Вип. 4. С. 77-86.
19. Domingos M, A. Klumpp, M.C.S. Rinaldi, I.F. Modesto, G. Klumpp & W.B.C. Delitti. (2003). Combined effects of air and soil pollution by fluoride emissions on *Tibouchina pulchra* Cogn., at Cubatão, SE Brazil, and their relations with aluminium. *Plant and Soil*, 249, 297–308.



20. Mackowiak C.L., P.R. Grossl, B.G. Bugbee, (2003). Plant and Environment Interactions: Biogeochemistry of Fluoride in a Plant-Solution System. *Journal of Environmental Quality*, 32/6, 2230-2237.
21. Choudhary S, Rani S, Devika OS, Patra A, Singh RK, Prasad SK. Impact of fluoride on agriculture: A review on its sources, toxicity in plants and mitigation strategies. *International Journal of Chemical Studies*. 2019;7(2), 1675-1680.
22. Бессонова В.П. Фітоіндикація та фітомоніторинг: навчальний посібник. Дніпровський державний аграрно-економічний університет. Дніпро: Герда 2024. 206 с.
23. Sahariya A., Bharadwaj C., Emmanuel I., & Alam A. (2021). Fluoride Toxicity in soil and plants: an overview. *Asian Journal of Advances in Research*, 4(1), 573–581.
24. Рудько Г.І., Мацієвська О.О. Розподіл фтору в природних водах. Вісник національного університету «Львівська політехніка». 2010. № 664. С. 171–178.
25. Назаренко Е. А., Нікозять Ю. Б., Іващенко О. Д. Оцінка екологічної безпеки сільськогосподарських культур при підвищеному вмісті фторидів у ґрунтах Полтавської області. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2015. Випуск 2. С. 159-164
26. Panda D. (2015) Fluoride toxicity stress: physiological and biochemical consequences on plants. *International Journal of Bioresearch and Environmental Agricultural Science*, 70-84.
27. Priti Sachan, Nand Lal. (2018). Effect of sodium fluoride on germination, seedling growth and photosynthetic pigments in *Cicer arietinum* L. and *Hordeum vulgare* L. *MOJ Ecology & Environmental Sciences*, 3(4), 300–304.
28. Приседський Ю.Г. Вплив забруднення ґрунту фторидами та сульфітами на ростові показники деяких видів квітково-декоративних рослин. *Вісник Дніпропетровського держ. аграрно-економ. ун-ту* № 1 (33), 2014. С. 115-119.

29. Gramowska, H.; Siepak, J.(2002). The effect of the fluorine level on the state of leaves and needles of trees in Poznań city and its vicinities. *Roczn. Ochr. Srod*, 4. 445–447
30. Karolewski, P.; Siepak, J.; Gramowska, H. (2000). Response of Scots pine, Norway spruce and Douglas fir needles to environment pollution with fluorine compounds. *Dendrobiology*, 45, 41–46.
31. Telesiński, A.; Śnioszek, M. (2009). Bioindicators of environmental pollution with fluorine. *Bromat. Chem. Toksykol.*, 4, 1148–1154
32. Pal K.C.; Mondal N.K.; Bhaumik R.; Banerjee,A.; Datta J.K. (2012). Incorporation of fluoride in vegetation and associated biochemical changes due to fluoride contamination in water and soil: A comparative field study. *Ann. Environ. Sci.*, 123–139.
33. Zouari, M.; Elloumi, N.; Bellassoued, K.; Ahmed, C.B.; Krayem, M.; Delmail, D.; Elfeki, A.; Rouina, B.B.; Abdallah, F.B.; Labrousse, P. (2017). Enzymatic antioxidant responses and mineral status in roots and leaves of olive plants subjected to fluoride stress. *S. Afr. J. Bot.*, P. 111.
34. Ram A, Verma P, Gadi BR (2014) Effect of fluoride and salicylic acid on seedling growth and biochemical parameters of watermelon (*Citrullus lanatus*). *Fluoride* 47, 49–55.
35. Pelc J., Śnioszek M., Wróbel J., Telesiński A.(2020). Effect of Fluoride on Germination, Early Growth and Antioxidant Enzymes Activity of Three Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars *Appl. Sci.*, 10(19), 6971.
36. Peng, C.Y.; Xu, X.F.; Ren, Y.F.; Niu, H.L.; Yang, Y.Q.; Hou, R.Y.; Wan, X.C.; Cai, H.M. (2021). Fluoride absorption, transportation and tolerance mechanism in *Camellia sinensis*, and its bioavailability and health risk assessment: A systematic review. *J. Sci. Food Agric.*, 101, 379–387.
37. Baunthiyal, M.; Ranghar, S.(2014). Physiological and biochemical responses of plants under fluoride stress: *An overview. Fluoride*, 47, 287–293
38. Rafeek A., Nazar A., Zachariah B. G., Thomas B., Aju M. G. (2021). Phytoremediation as a Novel Strategy for Accumulation of Fluoride Ions from the



Environment. *Transactions on Innovations in Science & Technology Volume.5, Issue.1*, 2456-5075

39. Mondal N. K., Kundu M. (2016). Biosorption of Fluoride from Aqueous Solution Using Lichen and Its Ca-Pretreated Biomass. *Water Conservation Science and Engineering*, № 3, 143-160.

40. Braga A. F., Borges A. C., Vaz L. R. L., Tamara D. de Souza, Rosa A. P. (2021). Phytoremediation of fluoride-contaminated water by *Landoltia punctata*. *Engenharia Agrícola*, № 2, 171-180.

41. ДСТУ 7018:2009 Насіння квітково-декоративних культур. Правила приймання та методи визначення якості.

42. Шевчик Л. З., Романюк О. І. Дослідження деяких закономірностей впливу нафти на початкові ростові параметри рослинних тест-об'єктів. *Вісник Львівського університету Серія Біологія*. № 67. С. 129-137.

43. Приседський Ю.Г. Ростові параметри деяких видів газонних трав за умов комплексного флуоридно-сульвітного забруднення ґрунту. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2017 Випуск 76. С. 128-137

44. Приседський Ю. Г. Фотосинтез: методичний посібник з виконання лабораторних робіт та самостійної роботи. Вінниця: ДонНУ, 2016. 68 с.

45. Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів. Донецьк: Кассіопея, 1999. 210 с.

46. Приседський Ю. Г. Пакет програм для проведення статистичної обробки результатів біологічних експериментів. Донецьк: ДонНУ, 2005. 75 с.

47. Повний атлас лікарських рослин / уклад. І. С. Алексєєв. Донецьк: Глорія Трейд, 2013. 398 с.

48. Барбарич А.І., Брадїс Є.М. та інші. Визначник рослин України. Київ: Урожай, 1965. 877 с.

49. Шелудько Л. П., Куценко Н. І. Лікарські рослини (селекція і насінництво) : монографія. Полтава, 2013. С.183–189.

50. Verma PK, Raina R, Agarwal S. (2018). Phytochemical ingredients and Pharmacological potential of *Calendula officinalis* Linn. *Pharmaceutical and Biomedical Research, Volume 4, Issue 2*, 1-17.
51. Albulescu M, Alexa N, Cojan C. (2004). Annals of West University of Timisoara. *Series Chemistry*, 45-57.
52. Silva D, Ferreira MS, Cruz MT, Almeida SF. (2021). Anti-Inflammatory Activity of *Calendula officinalis* L. *Flower Extract Cosmetics*, *Cosmetics*, 8(2), 31; <https://doi.org/10.3390/cosmetics8020031>
53. Двуліт І. П. Актуальність застосування фітопрепаратів як лікувально- профілактичних засобів у пародонтологічних хворих. *Клінічна стоматологія*. 2016. № 2. С. 8–13.
54. Bone K. A clinical guide to blending liquid herbs. St.Louis Missouri, *Churchill Livingstone*, 2003; 120-123
55. Фітотерапія в кардіології: навчальний посібник / Ю. І. Корнієвський, та ін. Запоріжжя: Вид-во ЗДМУ, 2017. 470 с.
56. Поліщук І.С., Телекало Н.В. Лікарські рослини: методичні вказівки до виконання практичних робіт студентами 3-го курсу денної форми навчання агрономічного факультету з галузі знань 0901 «Сільське господарство та лісництво» напряму підготовки 6.090101 «Агрономія» за освітньо кваліфікаційним рівнем «Бакалавр» Вінниця: ВНАУ, 2017. 48с.
57. Karimi E., Oskoueian E. (2018). *Borago officinalis* L. flower: a comprehensive study on bioactive compounds and its health-promoting properties. *Journal of Food Measurement and Characterization* 12(9), 826–838.