

БІОЛОГІЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-4-80-51>

УДК 504.4.06(477.54):665.66

Крайнюков О.М.

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кривицька І.А.Харківський національний економічний університет
імені Семена Кузнеця**Черкашина Ю.Ю.**

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

ОЦІНКА ВПЛИВУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА ФОТОСИНТЕЗУЮЧИЙ АПАРАТ РОСЛИН

Анотація. В процесі інтенсивної індустріалізації суспільства, проблема забруднення довкілля набуває глобального характеру. Все частіше ми зустрічаємось з проблемою несвоєчасного виявлення забруднення територій, що в свою чергу веде до збільшення виникнення екологічних ризиків. Для більш якісного моніторингу навколишнього середовища необхідно розвинути систему біологічного контролю довкілля. Біологічні методи контролю дозволяють виявити поллютанти в незначних кількостях, що збільшує ймовірність знизити рівень екологічних ризиків при забрудненні навколишнього середовища. Індикаторами забруднення ґрунтового покриву в першу чергу виступають рослини, за якими можна спостерігати зміни у хімічному складі ґрунту. Важкі метали, мають негативний характер впливу на фотосинтезуючі пігменти, в результаті чого, рослини страждають від такої хвороби, як хлороз. Тому, при оцінці якості стану навколишнього середовища, необхідно приділяти увагу вивченню вмісту зелених пігментів у рослинах. Актуальність даної роботи полягає у використанні фотосинтезуючого апарату рослин, який виступає джерелом інформації, щодо забруднення навколишнього середовища. Задля експериментальних досліджень дії важких металів на фотосинтезуючий апарат рослин було обрано три метали: хром, свинець та мідь. Проаналізувавши всі три метали, концентрація яких становила від 1 до 30 ГДК, було визначено, що вони не мають пригнічуючої дії на фотосинтетичний апарат рослин через кореневу систему, оскільки показники співвідношення хлорофілів а та b входили в діапазон 3,2–3,7, при нормальному діапазоні в 2,5 – 3,0. При проведенні дослідів з аеральним знаходженням важких металів на листки рослин, отримані результати, показали, що важкі метали не мають негативного впливу на рослини. Було використано розчини солей важких металів хрому, свинцю та кадмію в концентраціях 30 ГДК.

Ключові слова: важкі метали, ґрунти, фотосинтез, хлорофіл.

Krainiukov Oleksii

V.N. Karazin Kharkiv National University

Krivicka Ivetta

Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics

Cherkashyna Yuliia

V.N. Karazin Kharkiv National University

ESTIMATION OF HEAVY METAL IMPACT ON THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF PLANTS

Summary. In the process of intensive industrialization of society, the problem of environmental pollution is becoming global. Increasingly, we are confronted with the problem of late detection of contamination of territories, which in turn leads to an increase in the occurrence of environmental risks. For better environmental monitoring, it is necessary to develop a system of biological environmental control. Biological control methods allow the detection of pollutants in small quantities, which increases the likelihood of reducing the level of environmental risks of environmental pollution. Indicators of soil contamination are primarily plants, which can be observed changes in the chemical composition of the soil. Heavy metals have a negative effect on photosynthetic pigments, resulting in plants suffering from a disease such as chlorosis. Therefore, when assessing the quality of the environment, it is necessary to pay attention to the study of the content of green pigments in plants. The relevance of this work is the use of a photosynthetic plant apparatus, which serves as a source of information on environmental pollution. For the purpose of experimental studies of the effects of heavy metals on the photosynthetic apparatus of plants, three metals were selected: chromium, lead and copper. After analyzing all three metals, the concentration of which was from 1 to 30 MPC, it was determined that they have no inhibitory effect on the photosynthetic apparatus of plants through the root system, since the ratio of chlorophylls a and b were in the range of 3.2-3.7, at the normal range of 2.5-3.0. When conducted with the aerial finding of heavy metals on the leaves of plants, the results obtained showed that heavy metals do not have a negative impact on plants. Solutions of heavy metal salts of chromium, lead and cadmium in concentrations of 30 MPC were used. After studies, it can be concluded that heavy metals do not have a significant inhibitory effect on the photosynthetic apparatus of plants, as there is a general decrease in the concentration of chlorophylls, and the ratio of chlorophylls a and b do not decrease.

Keywords: heavy metals, soils, photosynthesis, chlorophyll.

Постановка проблеми. В процесі інтенсивної індустріалізації суспільства, проблема забруднення довкілля набуває глобального характеру. Все частіше ми зустрічаємось з проблемою несвоечасного виявлення забруднення територій, що в свою чергу веде до збільшення виникнення екологічних ризиків. Для більш якісного моніторингу навколишнього середовища необхідно розвивати систему біологічного контролю довкілля. Біологічні методи контролю дозволяють виявити полютанти в незначних кількостях, що збільшує ймовірність знизити рівень екологічних ризиків при забрудненні навколишнього середовища.

Індикаторами забруднення ґрунтового покриву в першу чергу виступають рослини, за якими можна спостерігати зміни у хімічному складі ґрунту. Важкі метали, мають негативний характер впливу на фотосинтезуючі пігменти, в результаті чого, рослини страждають від такої хвороби, як хлороз. Тому, при оцінці якості стану навколишнього середовища, необхідно приділяти увагу вивченню вмісту зелених пігментів у рослинах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Рослини – індикатори – це рослини які знаходяться у тісному зв'язку з певними екологічними умовами. Завдяки таким рослинам, можна спостерігати за впливом різних мікроелементів та речовин на ґрунт. Рослини виступають в ролі індикаторів під час оцінки механічного та хімічного складу ґрунту, а також в пошуках прісних вод в пустелі та при розвідці корисних копалин. Видова різноманітність рослин залежить від кислотності ґрунтів, ступеня їх родючості, а також кількісної складової різних хімічних елементів у ґрунтах. За станом рослин, можна визначити на скільки забруднений ґрунтовий покрив різноманітними полювантами [1].

Чутливі фітоіндикатори можуть вказувати на присутність полювантів в повітрі або ґрунті за допомогою ранніх морфологічних реакцій, таких як : зміна забарвлення листя, різні форми некрозів, завчасне старіння та опадання листя. У багаторічних рослин, реакція на забруднюючі речовини проявляється через зміну розміру, форми, напрямку росту пагонів чи зменшення плодючості, але такі реакції загалом не виражені [2].

Симптоми які виникають у рослин при антропогенному забрудненні можуть бути схожі з симптомами, які можуть визвати природні чинники. Прикладом такого прояву може слугувати хлороз листя, який може бути при нестачі заліза в ґрунті або при ранніх заморозках. Враховуючи такі особливості, необхідно приділяти увагу на можливість дії інших факторів при морфологічних змінах у рослин [2].

В дослідженнях можуть використовуватись росини – акумулятори. Вони здатні накопичувати у своїх тканинах забруднюючі речовини або шкідливі продукти метаболізму, які можуть бути утворені під дією забруднюючих речовин, але видимих змін у рослин не спостерігається. В результаті перевищення порогу токсичності полюванта, для таких рослин виявляють різні відповідні реакції, які можуть виражатись в зміні швидкості росту і тривалості цвітіння та плодючості, біометричних показників та зниженні продуктивності [2].

Спостерігаючи за ростом рослин, який може слугувати індикатором стану рослин, можна визначити яким чином можуть впливати стресові фактори на функції та процеси організму рослин. Під пригнічуючою дією полювантів, відбувається зниження швидкості росту рослин, а також зменшення накопичення біомаси в порівнянні з показниками, що характерні для даного виду рослин [3].

Під впливом важких металів на рослини, корені рослин виступають так званим бар'єром на шляху їх поглинання та транспорту з ґрунту. Коренева система виконує функції накопичення та зниження токсичності важких металів в багатьох видів рослин. Завдяки цьому, підвищені концентрації важких металів мають негативний вплив на кореневу систему рослин. В результаті токсичної дії важких металів, відбувається зменшення довжини головного кореня, кількості бокових коренів, біомаса кореня, а також відбувається відмирання кореневих волосків. Всі зазначені порушення, призводять до зниження поглинання живильних речовин та води, в результаті чого, відбувається пригнічення росту та розвитку, а також можлива загибель рослини [3].

Важкі метали мають негативний характер впливу на продуктивність насіння та плодів рослин. При підвищеній концентрації свинцю, кадмію та цинку відбувається зниження врожаю насіння у пшениці та кінських бобів. Під впливом свинцю кількість насіння у ячменю значно зменшується. Якщо розглядати вплив важких металів на сільськогосподарські рослини, то висока концентрація важких металів в ґрунті призводить до зниження їх продуктивності та погіршення якості врожаю. В результаті цього, рослинна продукція має менший вміст поживних речовин та підвищену концентрацію токсичних елементів, що може мати негативний вплив на здоров'я людини [3].

Найбільший вплив на ґрунтовий покрив відбувається завдяки викидам підприємств промисловості, автотранспорту та енергетики, а також хімічні засоби захисту рослин та добрива які використовуються в сільському господарстві [4].

В процесі оцінки впливу забруднюючих речовин на довкілля, використовують різноманітні біоіндикатори. Наприклад, при загальному забрудненні – лишайники та мохи; при забрудненні важкими металами – слива, подорожник, квасоля; при забрудненні діоксидом сірки – люцерна, аміаком – соняшник; сірководнем – горох та пшинат; поліциклічними ароматичними вуглеводнями – недоторка [5].

Мак має виразну реакцію на підвищений вміст міді, у більшості рослин припиняється ріст, знижується енергія проростання насіння. Ярутка чутлива до накопичення цинку, завдяки якому, у неї відмирають кінчики листя та виникають потворні форми. Смольовка виступає в ролі індикатору свинцю, вона має карликову форму, змінює колір листя на темно червоний, а квітки стають дрібнішими. Щодо вихлопних газів, то є багато видів рослин, у яких відмирають чи засихають кінчики листя [5].

Біотестування, є одним з перспективних методів визначення токсичності ґрунту. У США в якості біотесту найбільш часто використовують

насіння кукурудзи, цукрових буряків та огірка; у Великобританії – гороху, цукрових буряків, сочевиці; у Новій Зеландії – вівса, ріпи; в Австралії – пшениці; в Італії – капусти, салату, кукурудзи, пшениці та гірчиці; у Росії та Україні – редису, пшениці, салату, гірчиці, кукурудзи та вівса. Для визначення токсичності, краще обирати дрібне насіння з невеликим запасом поживних речовин [6].

Рослинні угруповання виконують роль індикаторів екологічної ситуації в навколишньому середовищі. Фотосинтезуючий апарат рослин, має високу чутливість до впливу стресових факторів. В цьому випадку, особливо цікаво розглядати фотосинтезуючі пігменти – компоненти фотосинтезуючих структур (фітосистеми I та II і світло збиральних комплексів) – хлорофілів а та b, а також каротиноїдів [7].

Характер впливу важких металів на хлорофіли залежить від концентрації та токсичності металу, тривалості його впливу та від ярусу листя. Наприклад, в ячменю при збільшеній концентрації свинцю, зниження концентрації хлорофілів спостерігається в третьому листі більше, в порівнянні з першим та другим [8].

В процесі досліджень, було виявлено, що при загальному зниженні концентрації хлорофілів в листі, співвідношення хлорофілів а та b залишається майже незмінним, навіть при високих дозах важких металів. Це може свідчити про те, що зниження вмісту хлорофілів у рослині, спричинене пригніченням їх біосинтезу. При впливі важких металів відбувається процес пригнічування утворення активного хлорофіл-дредуктазного та синтезу амінолевулінової кислоти. А також, порушення біосинтезу хлорофілів при забрудненні важкими металами може бути спричинене витісненням ними іонів магнію з молекули хлорофілу. Відомо, що каратиноїди в порівнянні з хлорофілами мають менш чутливу реакцію до впливу важких металів [8].

Рослини мають чутливу реакцію на забруднення навколишнього середовища. При збільшенні концентрації забруднюючих речовин в рослинах, спостерігається зміна процесів росту та розвитку, фотосинтезу й дихання, а також продуктивності рослин. Тому рослини, можна використовувати як високочутливі біоіндикатори забруднення довкілля.

Мета статті – визначення впливу важких металів на фотосинтезуючий апарат рослин.

Методи дослідження. Якісний і кількісний склад пігментів е (в фізіологічному сенсі) показником пристосованості рослини до умов навколишнього середовища.

Так, кількість хлорофілу і каротиноїдів більше у тіньовитривалих рослин. Співвідношення хлорофілів а і b (Chl a / Chl b) також є показником хроматичної адаптації і змінюється в ряду рослин тіньовитривалі → світлолюбні → альпійські: 2,5 → 3,5 – 3,9 → до 5,5. Часто вміст хлорофілу в досліджуваному зразку необхідно знати, щоб розрахувати питому інтенсивність будь-якої фотосинтетичної реакції [6].

Кількість зелених пігментів може бути визначена за допомогою вимірювання оптичного поглинання при певній довжині хвилі світла. Інтенсивність поглинання світла (оптична гу-

стина) залежить від концентрації пігментів в розчині і може бути встановлена за допомогою спектрофотометру. Слід враховувати, що максимум поглинання залежить не тільки від природи пігменту, але і від розчинника, який використовується для екстракції пігментів [6].

Наважку рослинного матеріалу 1 г (необхідно вказати точну масу) ретельно розтерли у фарфоровій ступці з додаванням осушувача, кварцового піску (на кінчику шпателя) і 80% ацетону (2–3 мл), настоювали 2–3 хв [9].

Гомогенат перенесли на скляний фільтр, який вставили в колбу Бунзена та профільтрували. Ступку і товкач обполоснути невеликою кількістю розчинника, злити на фільтр. Екстракцію повторювали декілька разів до повного знебарвлення рослинного матеріалу. Фільтрат кількісно перенесли у мірну пробірку і об'єм фільтрату доводять до 10 мл розчинником. Отримана витяжка містить суміш зелених та жовтих пігментів. Далі визначають оптичну густину розчину пігментів, встановлюючи довжини хвиль залежно від використаного розчинника [9].

У даній роботі для розрахунку вмісту хлорофілів використовувався 96 % етиловий спирт. За допомогою формул 1 та 2 було розраховано концентрація хлорофілу а та хлорофілу b за рівнянням Вінтерманс де Мотса [10]:

$$\text{Chl a [мг/л]} = 13,70 * D665 - 5,76 * D649, (1)$$

$$\text{Chl b [мг/л]} = 25,80 * D649 - 7,60 * D665, (2)$$

де С – концентрація пігменту в витяжці, [мг/л]; D646 і D663 – оптична щільність витяжки при D646 і D663 нм відповідно.

Встановивши концентрацію пігменту в витяжці, за допомогою формули 3 визначають його зміст в досліджуваній тканині з урахуванням обсягу витяжки та маси проби [10]:

$$A = (C \times V) / (n \times 1000), (3)$$

де А – вміст пігментів в рослинній тканині, мг/г сирої ваги;

С – концентрація пігментів у витяжці, мг/л;

V – об'єм витяжки пігментів, мл;

n – наважка рослинного матеріалу, г.

Зазвичай в нормальному зеленому листі вміст хлорофілу становить 0,5–3,0 мг/г сирої ваги, а співвідношення хлорофілів а та b = 2,5 – 3,0.

Виклад основного матеріалу. Дослідження проводилось в лабораторії еколого-токсикологічних досліджень екологічного факультету Харківського Національного університету імені В.Н. Каразіна, стан системи вимірювань якої за результатами аудиту ДП «Харківстандартметрологія» відповідає вимогам ДСТУ ISO 10012:2005 на проведення вимірювань токсичності методом біотестування у сфері поширення державного метрологічного нагляду, було проведено спектральний аналіз спиртових витяжок листя вівса, в яких вимірювався вміст хлорофілів а і b.

Для досліді в якості тест – об'єкту було використано насіння вівса посівного. Овес посівний (*Avena sativa* L) – однорічна культивована трав'яниста рослина родини злакових. Стебло (соломина) прямостояче, заввишки 60–150 см, смугасте, гладеньке, з порожнистими меживузлями, галузиться в нижній частині – вузлі куціння. Листки чергові, дворядні, з паралельним жилкуванням лінійної пластинки. Квітки дріб-

Таблиця 1

Результати визначення концентрацій та співвідношення хлорофілів а та b з витяжки пігментів, під впливом хрому

Концентрація Cr у водному розчині, мг/л	Концентрація хлорофілу а, мг/л	Концентрація хлорофілу b, мг/л	Співвідношення Chl a / Chl b
6	1,192101	0,366105	3,256175
12	1,142195	0,333853	3,421249
18	1,097855	0,324407	3,384195
24	1,47445	0,443125	3,327388
30	1,295107	0,385153	3,362582
60	1,219874	0,374141	3,260471
120	1,084099	0,292993	3,700082
180	1,181541	0,313533	3,768471

Джерело: розроблено авторами

ні, двостатеві, зібрані по 2–3 у пониклі колоски, що утворюють на верхівці стебла розлого волоть. Плід – зернівка завдовжки до 8 мм. Цвіте у червні – серпні, досягає в липні – вересні.

Обраний тест – об'єкт має ранню схожість, найменший період вегетації та чітко виражену реакцію щодо присутності поллютанта.

Співвідношення хлорофілів а та b дозволяє визначити інтенсивність процесу фотосинтезу в рослинах.

Було проаналізовано вплив різних концентрацій трьох важких металів (Cr, Pb, Cu) на вміст фотосинтетичних пігментів однорічної трав'янистої рослини – вівса.

Для проведення досліду використовувались розчини важких металів, які були отримані в результаті змішування солей важких металів та дистильованої води, в різних співвідношеннях, щоб одержати потрібні концентрації. Для вивчення впливу важких металів через кореневу систему на пігментний склад рослин, насіння вівса пророщувалось в чашках Петрі з розчинами важких металів в різних концентраціях, у термолюмінестаті з рівномірним освітленням інтенсивністю від 4500 до 5000 лк. Освітлення зерен вівса відбувалось протягом 16-ти годин на добу, постійна температура в термолюмінестаті становила $22 \pm 4^\circ\text{C}$.

Процес пробопідготовки для кожної концентрації розчинів важких металів проводить три рази, щоб знизити імовірність відхилення результатів.

Розрахунок концентрації хлорофілів а та b відбувається за рахунок визначення у витяжці пігментів оптичної щільності витяжки за допомогою спектрофотометра ULAB – 102. Довжина хвиль відповідає максимумам поглинання визначених пігментів в даному розчинник: $\lambda = 665$ та 649 нм. За контроль береться чистий розчинник (96% етиловий спирт).

В результаті визначення впливу хрому на фотосинтезуючий апарат вівса, було отримано дані щодо вмісту хлорофілів а і b, та їх співвідношення (табл. 1). Нормальне значення співвідношення хлорофілів а та b, становить 2,5–3,0 [18].

За даними, наведеними у таблиці 3.1, можна спостерігати, що хром, має незначний вплив на концентрації хлорофілів а і b. Більш пригнічуючий ефект має концентрації хрому, яка становить 120 мг/л, оскільки в цій концентрації відбувається перевищення ГДК у 20 разів (рис. 1).

Для вивчення впливу хрому на фотосинтезуючий апарат вівса, було побудовано діаграму, яка представлена на рисунку 2, з позначенням діапазону співвідношення хлорофілів а та b в нормальному зеленому листі.

З діаграми видно, що хром у різних концентраціях не має пригнічуючого ефекту на співвідношення хлорофілів а та b. Концентрації хрому – 120 та 180 мг/л, мають найбільші значення відповідно до лінії норми максимуму. При більшій концентрації хрому, співвідношення хлорофілів збільшується, оскільки концентрація хлорофілів а і b знижується одночасно.

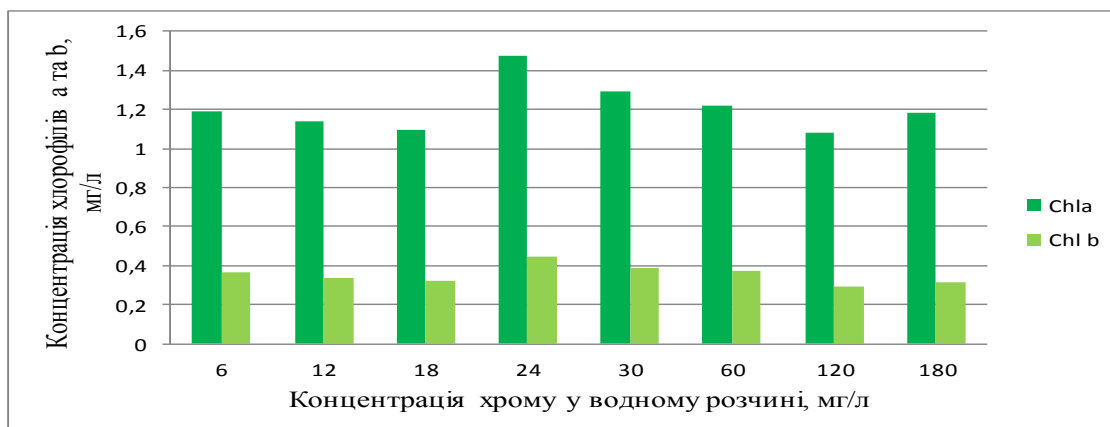


Рис. 1. Вплив хрому на вміст хлорофілів а та b

Джерело: розроблено авторами

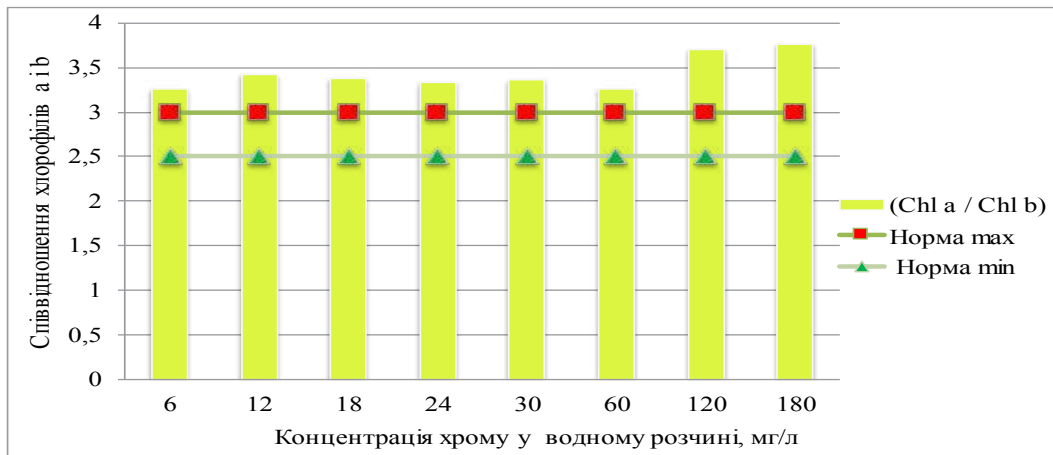


Рис. 2. Вплив хрому на фотосинтезуючий апарат рослин

Джерело: розроблено авторами

Для того, щоб визначити вплив свинцю на фотосинтезуючий апарат рослин, було обрано такі концентрації свинцю, з перевищенням ГДК у 2 – 30 разів, відповідно до гранично допустимих концентрацій хімічних елементів у ґрунті (табл. 2).

За отриманими даними, які наведені у таблиці 2, просліджується, що свинець, має невеликий вплив на концентрації хлорофілів а і b. Порівнюючи з впливом хрому на хлорофіли, свинець має більш негативний вплив.

Більш пригнічуючий ефект мають концентрації свинцю, які становлять 6, 24 та 30 мг/л (рис. 3). Це підтверджує те, що свинець за класифікацією по фітотоксичності відноситься до дуже фітотоксичних, і його вплив на тест – об'єкти проявляється в концентрації 1 мг/л у водному розчині.

При концентрації свинцю у 120 мг/л спостерігається збільшення фотосинтезуючих пігментів. Це може свідчити про те, що свинець, має стимулюючий вплив на вміст хлорофілів а та b у вівсі.

Таблиця 2

Результати визначення концентрацій та співвідношення хлорофілів а та b з витяжки пігментів, під впливом свинцю

Концентрація Pb у водному розчині, мг/л	Концентрація хлорофілу а, мг/л	Концентрація хлорофілу b, мг/л	Співвідношення Chl a / Chl b
6	0,990842	0,299655	3,306607
12	1,092863	0,327382	3,33819
18	1,28622	0,365199	3,521972
24	0,950922	0,258622	3,676884
30	0,991267	0,282827	3,504853
60	1,034353	0,310985	3,326061
120	1,168319	0,311827	3,746693
180	1,091027	0,304973	3,577452

Джерело: розроблено авторами

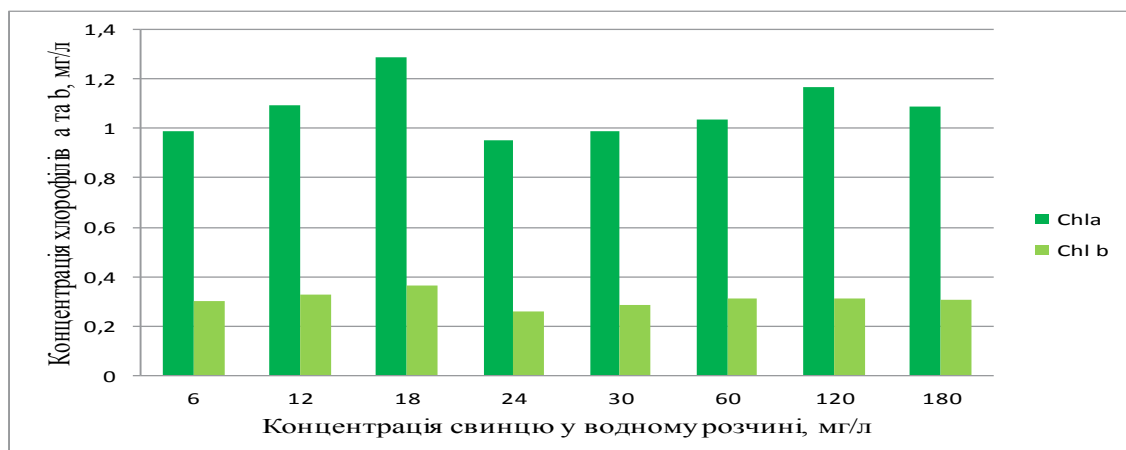


Рис. 3. Вплив свинцю на вміст хлорофілів а та b

Джерело: розроблено авторами

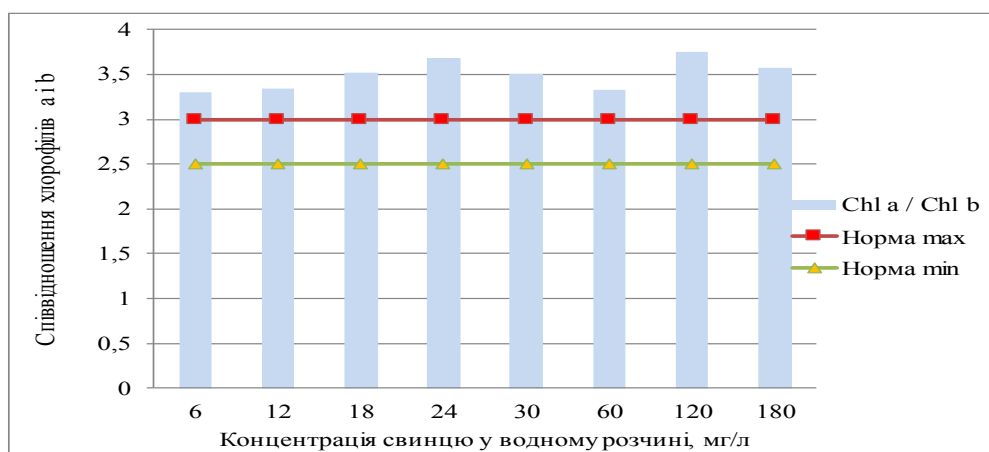


Рис. 4. Вплив свинцю на фотосинтезуючий апарат рослин

Джерело: розроблено автором

В результаті цього, можна дійти висновку, що свинець має різний характер впливу на фотосинтезуючий апарат в залежності від виду рослин.

Для визначення впливу свинцю на фотосинтезуючий апарат вівса, було побудовано діаграму, що представлена на рисунку 4, з позначенням діапазону співвідношення хлорофілів а та b в нормальному стані рослини.

На представленій діаграмі (рис. 4) можна спостерігати, що свинець навіть при високих концентраціях не має пригнічуючого впливу на співвідношення хлорофілів а і b. Концентрації – 24 та 120 мг/л, мають найбільші показники відповідно до нормального максимального значення співвідношення зелених пігментів. При концентрації свинцю у 24 мг/л, відбувається одночасне зниження концентрації хлорофілів а та b, тому співвідношення цих хлорофілів зростає. Проте, при концентрації свинцю у 120 мг/л, співвідношення хлорофілів а та b також зростає, оскільки свинець стимулює одночасне збільшення кількості хлорофілів.

Для визначення впливу міді на фотосинтезуючий апарат рослин, було обрано такі концентрації міді: 3 мг/л, 6 мг/л, 9 мг/л, 12 мг/л, 15 мг/л, 30 мг/л, 60 мг/л, 90 мг/л (табл. 3).

Виходячи з даних які наведені у таблиці 3.3, можна дійти висновку, що мідь не має значного впливу на концентрації хлорофілів а та b. У рослині вівса, при значеннях концентрації міді 1ГДК, 3ГДК, спостерігається зниження вмісту

хлорофілів, в порівнянні зі значеннями у 5ГДК, 10ГДК та 20ГДК, де відбувається збільшення концентрацій хлорофілів (рис. 5).

Збільшення вмісту хлорофілів, може бути спричинене вмістом в рослинах білка пластоцианіна, який має мідь у своїй структурі та залучений в транспорт елементів від фотосистеми II до фотосистеми I.

На основі наведених даних у таблиці 3.3, було побудовано діаграму (рис. 6), з позначенням нормального мінімального та максимального значення співвідношення хлорофілів а і b в нормальному стані рослини.

Аналізуючи вищенаведену діаграму (рис. 6), можна визначити підвищене значення співвідношення хлорофілів а та b при концентраціях міді 30–90 мг/л. Це відбувається завдяки збільшенню значень концентрацій хлорофілів а і b.

Для підтвердження отриманих даних, щодо впливу важких металів на фотосинтезуючий апарат рослин було обрано концентрації хрому, свинцю та міді, які перевищували гранично допустимі концентрації у 30 разів. Отримані результати наведені у таблиці 4.

Згідно наведеної таблиці, можна зробити висновки, що всі три метали не мають суттєвого впливу на концентрації хлорофілів а і b.

На основі отриманих даних, було побудовано діаграму впливу важких металів на фотосинтезуючий апарат рослин (рис. 7).

Таблиця 3
Результати визначення концентрацій та співвідношення хлорофілів а та b з витяжки пігментів, під впливом міді

Концентрація Cu у водному розчині, мг/л	Концентрація хлорофілу а, мг/л	Концентрація хлорофілу b, мг/л	Співвідношення Chl a / Chl b
3	0,867778	0,26908	3,224981
6	1,133272	0,328528	3,44954
9	0,975438	0,296967	3,28467
12	1,094949	0,326089	3,357827
15	1,217449	0,351922	3,459426
30	1,182495	0,334606	3,533995
60	1,160815	0,302427	3,838334
90	1,050399	0,304153	3,453519

Джерело: розроблено авторами

Результати визначення концентрацій та співвідношення хлорофілів а та b з витяжки пігментів, під впливом важких металів

Концентрація важких металів, 30ГДК	Концентрація хлорофілу а, мг/л	Концентрація хлорофілу b, мг/л	Співвідношення Chl a / Chl b
Cr	1,230432	0,331758	3,70883
Pb	1,100463	0,34303	3,208064
Cu	1,126943	0,322176	3,497914

Джерело: розроблено авторами

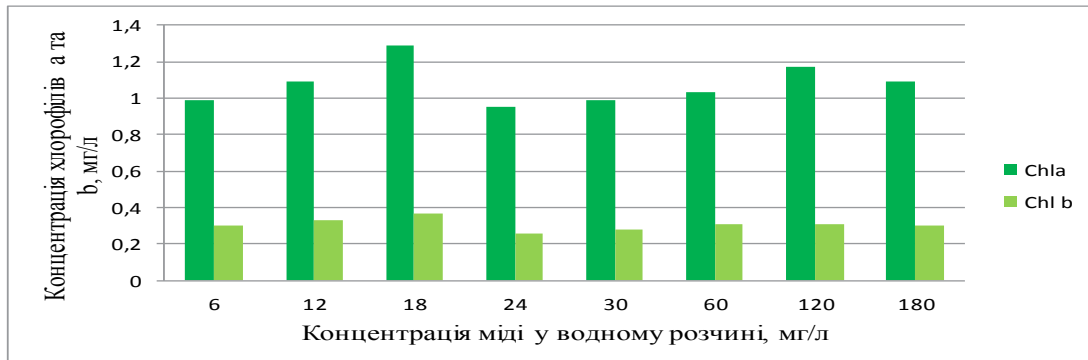


Рис. 5. Вплив міді на вміст хлорофілів а та b

Джерело: розроблено авторами

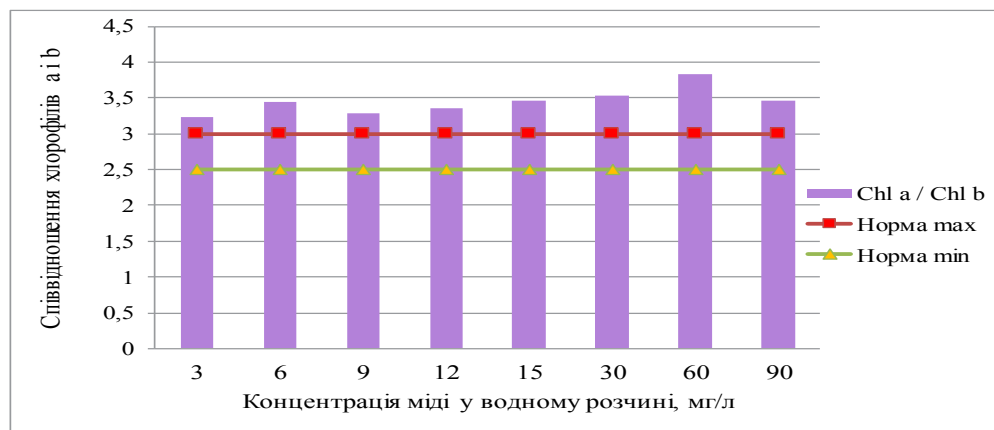


Рис. 6. Вплив міді на фотосинтезуючий апарат рослин

Джерело: розроблено авторами

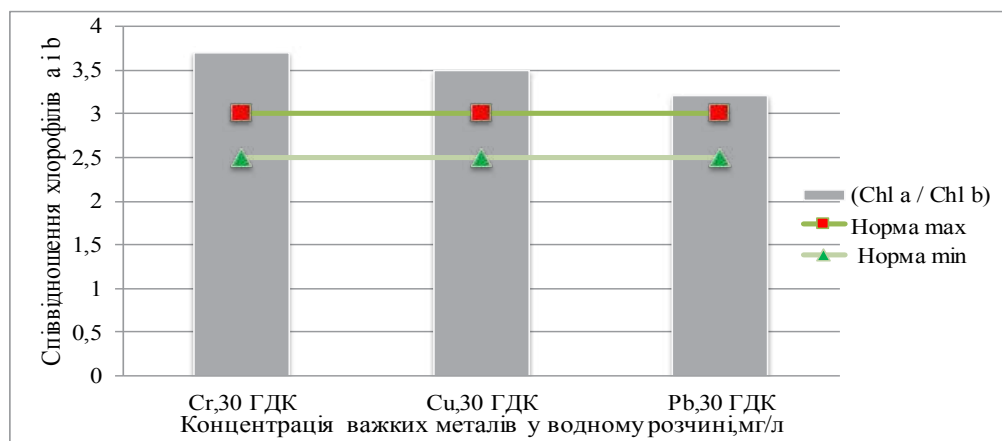


Рис. 7. Вплив важких металів на фотосинтезуючий апарат рослин

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 5

Результати визначення концентрацій та співвідношення хлорофілів а та b з витяжки пігментів, під аеральним впливом важких металів

Концентрація важких металів, 30ГДК	Концентрація хлорофілу а, мг/л	Концентрація хлорофілу b, мг/л	Співвідношення Chl a / Chl b
Cr	1,2304	0,3317	3,7088
Cu	1,1269	0,3221	3,4979
Pb	1,1004	0,3430	3,2080

Джерело: розроблено авторами

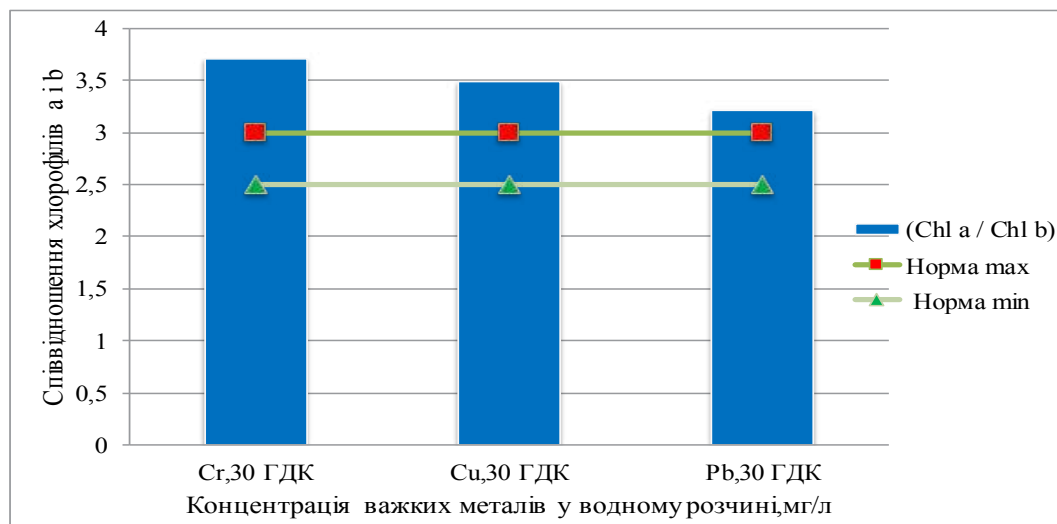


Рис. 8. Аеральний вплив важких металів на фотосинтезуючий апарат рослин

Джерело: розроблено авторами

На даній діаграмі наведені концентрації міді, хрому та свинцю, які перевищують гранично допустимі концентрації в 30 разів, але видимого впливу на співвідношення хлорофілів не спостерігається.

В результаті проведеного дослідження, було визначено, що важкі метали не мають пригнічуючої дії на фотосинтетичний апарат рослин через кореневу систему.

Для більш детального розгляду питання, щодо впливу важких металів на фотосинтезуючий апарат рослин, було проведено дослід з використанням розчинів важких металів в процесі обприскування обраного тест – об'єкту *Avena sativa* L. Тривалість експерименту – 7 днів. Насіння вієса пророщувалося в чашках Петрі, до отримання зеленої маси, в процесі дослідження відбувалося обприскування проростків розчинами важких металів хрому, міді та свинцю у концентрації 30ГДК.

В результаті даного експерименту було отримано дані, щодо концентрації хлорофілів а та b і їх співвідношення (табл. 5).

За результатами дослідження, було виявлено, що жоден з металів не має значного негативного впливу на концентрації хлорофілів. Порівнюючи хром, мідь та свинець, найбільший вплив на концентрацію хлорофілу а становить свинець. На основі отриманих даних, було побудовано діаграму співвідношення хлорофілів а і b (рис. 8).

На діаграмі спостерігається зменшення значень співвідношення хлорофілів а і b під дією свинцю, оскільки цей метал впливає на хлорофіл а, концентрація якого в співвідношенні діє на активність фотосинтезу.

Загалом, важкі метали не мають негативного впливу на рослини навіть при аеральному надходженні.

В результаті проведених досліджень, можна дійти висновку, що, причиною отримання таких результатів, може слугувати незмінність стехіометричного стану реакційних центрів фотосистем I та II. В результаті чого, може відбуватись загальне зниження концентрації хлорофілів, але на співвідношення хлорофілів а і b, значимого впливу не спостерігається.

Висновки. Задля експериментальних досліджень дії важких металів на фотосинтезуючий апарат рослин було обрано три метали: хром, свинець та мідь. Проаналізувавши дію металів, концентрація яких становила до 30 ГДК, було визначено, що вони не мають пригнічуючої дії на фотосинтетичний апарат рослин ні через кореневу систему, ні при аеральному знаходженні, оскільки показники співвідношення хлорофілів а та b входили в діапазон 3,2–3,7, при нормальному діапазоні в 2,5–3,0.

Список літератури:

1. Кушнарєва О.П., Перекрєстова Е.Н. Влияние различных концентраций солей меди и свинца на содержание хлорофилла и содержание углерода в листьях растений. *Вестник Оренбургского государственного университета. Оренбург.* 2015. № 10. С. 294–297.
2. Бубнов А.Г. Биотестовый анализ – интегральный метод оценки качества объектов окружающей среды : учеб.-метод. пособ. Иваново : ГОУ ВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2007. 112 с.

3. Волошин І.М., Мезенцева І.В. Вміст свинцю в ґрунтах і рослинах та його вплив на поширення нозокласів. *Вісник Львівського університету. Серія : Географічна*. Львів, 2009. № 37. С. 120–128.
4. Валерко Р.А. Особливості біотестування антропогенно забруднених ґрунтів з метою їх екоотоксичної оцінки. *Вісник Харківського національного аграрного університету імені В. Докучаєва. Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів»*. Харків, 2013. № 2. С. 262–266.
5. Криволицкий Д.А., Тихомиров Ф.А., Федоров Е.А. Биоиндикация и экологическое нормирование. *Влияние промышленных предприятий на окружающую среду*. Москва, 1987. С. 18–26.
6. Bessonova, V.P., Ponomaryova, O.A. (2017). Morphometric characteristics and the content of plastid pigments of the needles of *Picea pungens* depending on the distance from the highways. *Biosystems Diversity*, vol. 25, no. 2, pp. 96–101.
7. Поліщук О.В. Методи лабораторних і польових досліджень флуоресценції хлорофілу. *Український ботанічний журнал*. 2017. Т. 74. № 1. С. 86–93.
8. Кайгородов Р.В. Устойчивость растений к химическому загрязнению : учеб. пособ. Пермь : Перм. гос. ун-т, 2010. 151 с.
9. Заболотний О.І., Леонтьук І.Б., Голодрига О.В., Заболотна О.В. Фотосинтетична продуктивність кукурудзи при застосуванні гербіциду Трофі 90. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2014. № 2. С. 85–90.
10. Поліщук О.В. Методи лабораторних і польових досліджень флуоресценції хлорофілу. *Український ботанічний журнал*. 2017. Т. 74. № 1. С. 86–93.

References:

1. Kushnareva, O.P., & Perekrestova, E.N. (2015). Vliyaniye razlichnykh kontsentratsiy soley medi i svintsa na sodержaniye khlorofilla i sodержaniye ugleroda v list'yakh rasteniy [Influence of various concentrations of copper and lead salts on the chlorophyll content and carbon content in plant leaves]. *Vesnik of Orenburg State University*, no. 10, pp. 294–297.
2. Bubnov, A.G. (2007). *Biotestovyy analiz – integral'nyy metod otsenki kachestva ob'yektov okruzhayushchey sredy* [Biotest analysis – an integral method for assessing the quality of environmental objects]. Method. Benefits. Ivanovo: GOU VPO Ivan. state chemical technol. un-t.
3. Voloshin, I.M., & Mezentseva, I.V. (2009). Vmist svyntsyu v gruntakh i roslynakh ta yoho vplyv na poshyrennya nozoklasiv [Together with lead in the ores and growths of this flood to the wider nosoclasses]. *Newsletter of Lviv University. Seriya: Hegrachna*. Lviv, no. 37, pp. 120–128.
4. Valerko, R.A. (2013). Osoblyvosti biotestuvannya antropogenno zabrudnenykh gruntiv z metoyu yikh ekotoksychnoyi otsinky [Features of biotesting of anthropogenically contaminated soils for their ecotoxic evaluation]. *Bulletin of the Kharkiv National Agrarian University named after V. Dokuchaev. Series "Soil Science, Agrochemistry, Agriculture, Forestry, Soil Ecology"*. Kharkiv, no. 2, pp. 262–266.
5. Kryvolutsky, D.A., Tikhomirov, F.A., & Fedorov, E.A. (1987). Bioindikatsiya i ekologicheskoye normirovaniye [Bioindication and environmental normalization]. *Impact of industrial enterprises on the environment*. Moscow, pp. 18–26.
6. Bessonova, V.P., & Ponomaryova, O.A. (2017). Morphometric characteristics and the content of plastid pigments of the needles of *Picea pungens* depending on the distance from the highways. *Biosystems Diversity*, vol. 25, no. 2, pp. 96–101.
7. Polischuk, O.V. (2017). Metody laboratornykh i pol'ovykh doslidzhen' fluorestsentsiyi khlorofilu [Methods of laboratory and field studies of chlorophyll fluorescence]. *Ukrainian botanical magazine*. Т. 74, no. 1, pp. 86–93.
8. Kaigorodov, R.V. (2010). *Ustoychivost' rasteniy k khimicheskomu zagryazneniyu* [Resistance of plants to chemical pollution]. Perm: Perm. state. univ.
9. Zabolotny, O.I., Leontyuk, I.B., Golodriga, O.V., & Zabolotna, O.V. (2014). Fotosyntetychna produktyvnist' kukurudzy pry zastosuvanni herbicydu Trofi 90 [Photosynthetic productivity of corn in case of fixed herbicide Trophy 90]. *News of the Umansky National University of Gardens*, no. 2, pp. 85–90.
10. Polishchuk, O.V. (2017). Metody laboratornykh i pol'ovykh doslidzhen' fluorestsentsiyi khlorofilu [Methods of laboratory and field studies of chlorophyll fluorescence]. *Ukrainian Botanical Journal*, vol. 74, no. 1, pp. 86–93.