

УДК: 581.1:631.8

І. Хоменко, асп., О. Косик, канд. біол. наук, Н. Таран, д-р біол. наук, проф.
Навчально-науковий центр "Інститут біології та медицини",
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ПАРАМЕТРИ ВОДНОГО ОБМІНУ РОСЛИН САЛАТУ ПОСІВНОГО ЗА ДІЇ ІОНІВ КАДМІЇ

Досліджено вплив іонів кадмію на показники водного обміну рослин салату *Lactuca sativa* L. двох відмінних за здатністю до накопичення вторинних метаболітів сортів (Лоло та Лоло Росса). Було використано одномісячні рослини, в середовище живлення яких додавали 0,1 мМ кадмію у формі сульфату протягом чотирнадцяти діб. Досліджували параметри містили: показник водного дефіциту, відносної тургесцентності, вмісту вільної води, концентрації клітинного соку, щільності та стану продихів, а також індексу толерантності. У роботі використано вагові, рефрактометричні, мікроскопічні та аналітичні методи дослідження. Згідно з отриманими результатами було виявлено різноспрямованість рослинної відповіді на дію іонів кадмію у цих сортів салату. Зокрема, для зеленого сорту Лоло зафіксовано зростання водного дефіциту протягом експозиції, зниження параметрів оводненості, вільної води та концентрації клітинного соку від рівня контролю до чотирнадцятої доби експозиції, тоді як для червоного сорту Лоло Росса помічено зниження водного дефіциту, зростання параметрів відносної тургесцентності та вільної води до чотирнадцятої доби експозиції на фоні відсутності достовірної різниці параметру концентрації клітинного соку. Крім того, в обох сортах спостерігалось зростання ксероморфності листових пластинок та особливо щільності продихів. Але в зеленого сорту Лоло більшість зафіксовано у закритому стані, на відміну від червоного сорту Росса. У підсумку виявлено, що зелений та червоний сорти салату мають відмінні стратегії пристосування до наявності важких металів у середовищі зростання. Згідно з характеристикою параметрів водного обміну та стоматографічного аналізу можна стверджувати про вищі адаптивні можливості сорту Лоло Росса до цього стресового фактора порівняно із сортом Лоло.

Ключові слова: іони кадмію, індекс толерантності, водний обмін, стоматографія, *Lactuca sativa* L.

Вступ. Однією з важливих проблем сучасного індустріального світу є зростання рівня накопичення комплексів та кон'югатів важких металів, що в природних умовах переважно недоступні для рослин, проте в ґрунтах важкі метали техногенного походження здатні легко переходити в харчові ланцюги. Крім того, на відміну від органічних забруднювачів, вони здатні існувати в ґрунті протягом тривалого часу [1]. Ураховуючи прогресуючі темпи антропогенного навантаження на довкілля, посилюється акумуляція сполук кадмію, одного з найпоширеніших полютантів першого класу токсичності, на земельних угіддях України, [2]. Існує доволі велика кількість джерел надходження кадмію в довкілля [3], проте здебільшого акумуляція кадмію в сільськогосподарських ґрунтах відбувається внаслідок нерозбірливої та неостаточної утилізації побутових та промислових відходів, використання забруднених стічних вод для іригації та застосування мінеральних добрив [1]. Традиційно як в Україні, так і в світі для збільшення виходу врожаю застосовуються підвищені кількості мінеральних добрив, збагачених солями важких металів та хелатних комплексів, що мало засвоюються і не відповідають біологічним потребам вирощуваних рослин. Щорічно в світі використовується понад 30 млн тонн фосфорних добрив, куди солі кадмію входять у вигляді мікрододмішок [4].

Листові овочі, зокрема салат (*Lactuca* L.), дають швидкий приріст біомаси і виступають у ролі дієтичних полівітамінних культур щоденного харчування людини, дуже чутливі до присутності токсичних металів у ґрунті [1] і здатні накопичувати їх у їстівних надземних органах [2, 5]. Зорріг зі співавт. [6] виявили, що салат, вирощений у присутності 15,0 мкМ CdCl₂, мав концентрацію листового Cd, у 100 разів вищу, ніж визначено законодавчими нормами для овочевих продуктів харчування людини. Водночас загальне глобальне комерційне виробництво салату тільки в 2010 році досягло 23,6 млн тонн, тому комерційна цінність салату робить необхідним його захист від забруднення сполуками кадмію [1].

Присутність підвищеного рівня Cd у середовищі живлення рослини може викликати ряд морфологічних, біохімічних та фізіологічних змін рослин, що призводить до затримки росту і навіть загибелі рослин [5, 6]. Висока концентрація Cd призводить до утворення активних форм кисню (супероксид-аніон, гідроксил-радикал, пероксид водню), які викликають окислювальний стрес та пошкодження мембран, про що свідчить зростання вмісту гідропероксидів ліпідів, тіобарбітурат-активних сполук

та інших маркерів ліпопероксидації [7, 8]. Активні форми кисню мають високу реакційну здатність, тому виступають загрозою структурної цілісності ряду макромолекул, таких як ДНК, РНК, пігменти, білки, ліпіди тощо [3]. Повідомляється про зниження ефективності шляхів асиміляції вуглецю, порушення транспірації, ультраструктури хлоропластів та складу тилакоїдних мембран за токсичного впливу іонів кадмію [3, 8]. Поряд із цим зафіксовано активізацію ензиматичних та неензиматичних систем антиоксидантного захисту рослинної клітини, посилення процесів дихання та білкового синтезу [9].

Необхідною умовою росту клітин, а також важливим фізіологічним фактором адаптивного потенціалу рослини у несприятливих умовах зростання є їхній водний статус. Підтримання рослиною певного водного балансу є важливою умовою стійкості за дії несприятливих чинників антропогенно трансформованого середовища [10].

Тому метою роботи було оцінити вплив іонів кадмію на загальну адаптаційну реакцію рослин салату посівного (*Lactuca sativa* L.) двох сортів, відмінних за здатністю до накопичення вторинних метаболітів, за інтегральними параметрами росту та водного режиму.

Матеріали і методи. У роботі досліджували вплив іонів кадмію у концентрації 0,1 мМ на одномісячні рослини *Lactuca sativa* зеленого сорту Лоло та антоціанового Лоло Росса. Насіння рослин обох сортів піддавали передпосівній обробці методом барботування у дистильованій воді протягом доби. Надалі залежно від віку проростки вирощували на 25 %-му, 50 %-му та 100 %-му середовищі Хогленда. У середовище живлення одномісячних рослин дослідних варіантів додавали 0,1 мМ кадмію у формі сульфату. Рослини, що вирощувались у попередніх умовах системи, були використані як контрольні варіанти. Для визначення впливу сублетальних доз Cd²⁺ зразки листків одного віку відбирали на першу, сьому та чотирнадцяту добу експозиції.

Індекс толерантності (ІТ) як один з основних інтегральних показників стійкості рослини оцінювали на основі параметру абсолютного росту: ІТ = Показник маси сухої речовини досліджуваного зразку / Показник маси сухої речовини контрольного зразку × 100 %.

Параметри водного обміну – водний дефіцит, відносну тургесцентність – досліджували за ваговим методом висічок [11, 12], вміст вільної води та концентрацію клітинного соку визначали за допомогою рефрактомет-

ричного методу [11]. Стоматографічний аналіз адаксіальної та абаксіальної поверхні листових пластинок робили за методом відбитків з використанням світлового мікроскопу Ломо (Росія) [13].

Результати опрацьовано статистично за допомогою стандартного пакета програми "Microsoft Excel 2010". Розбіжності між вибірками вважали значущими при $p \leq 0,05$.

Результати та їх обговорення. Основним раннім візуальним симптомом прояву негативного впливу іонів важких металів є пригнічення росту рослини. Ріст рослин є найбільш показовим інтегральним показником фізіологічного стану під час зміни складу середовища та формує системну відповідь рослини на підвищений вміст важких металів. Тому стабільність ростових параметрів рослин забруднених територій вважається одним із маркерів стійкості до умов середовища [2].

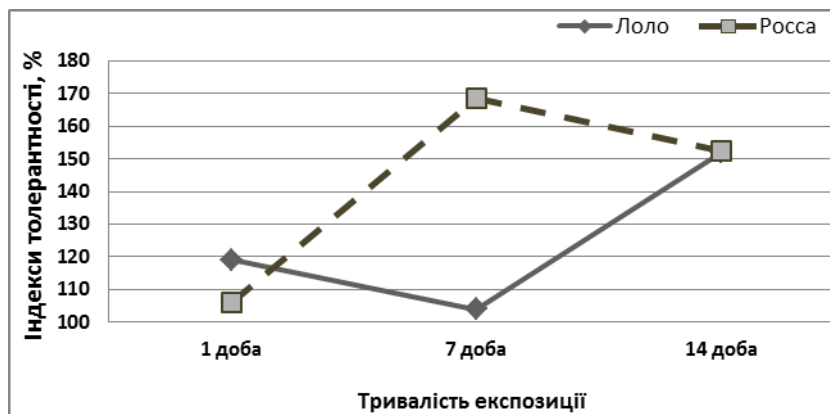


Рис. 1. Індекси толерантності *L. sativa* зеленого сорту Лоло та червоного Лоло Росса за дії 0,1 мМ Cd^{2+}

Використавши масу сухої речовини як інтегральний показник абсолютного росту, нами було досліджено індекси толерантності, що базуються на прирості біомаси і проявляють відмінності у відповіді рослин до експозиції в присутності Cd^{2+} . Отримані нами дані (рис. 1) свідчать про різницю у рівнях адаптаційної спроможності сортів салату, відмінних за рівнем накопичення антоціанів, до дії іонів кадмію. Зокрема, у дослідних рослин червоного сорту Лоло Росса зафіксовано зростання рівня резистентності вже на 7-му добу експозиції порівняно з дослідними рослинами зеленого сорту Лоло, які досягали відповідного рівня лише на 14 добу, що може пояснюватись залученням у процеси адаптивної відповіді рослини низькомолекулярних ендогенних антиоксидантів та хелаторів – антоціанів. Відомо, що ця група фенольних сполук має здатність утворювати хелатні комплекси з важкими металами [14], транспортуючи їх у вакуолю для детоксикації, а також впливати на плинність мембран, зменшуючи надходження небезпечних іонів у клітину [15]. Кадмій на початкових етапах надходження в рослину здатний

накопичуватись у клітинах кореневого чохла, що веде до його поступового відмирання [5, 16]. Це супроводжується появою некрозів темно-коричневого кольору та загальним потемнінням коренів рослини. Постійне їх ослизнення, починаючи з першої доби експозиції, свідчить про системний захист рослини від дії важкого металу через зв'язування з пектатами виділюваного слизу.

Надалі помітне значне гальмування росту коренів рослин обох сортів порівняно з контролем, що свідчить про надходження полютанту до надземної частини та зниження рівня водозабезпечення атрофованими коренями (рис. 2). Через високу електрохімічну активність та здатність кадмію до заміщення життєво необхідних двовалентних іонів значно знижується продуктивність фотосинтезу та загальний метаболізм рослинної клітини. Також накопичення кадмію перешкоджає поглинанню клітинами рослин інших двовалентних іонів, симптоми нестачі яких здатні проявлятися некрозами коренів, їх побурінням, хлорозом листків та загальним гальмуванням росту [3, 17]. У разі підвищення їх концентрації в середовищі можна домогтися знешкодження шкідливої дії Cd^{2+} .

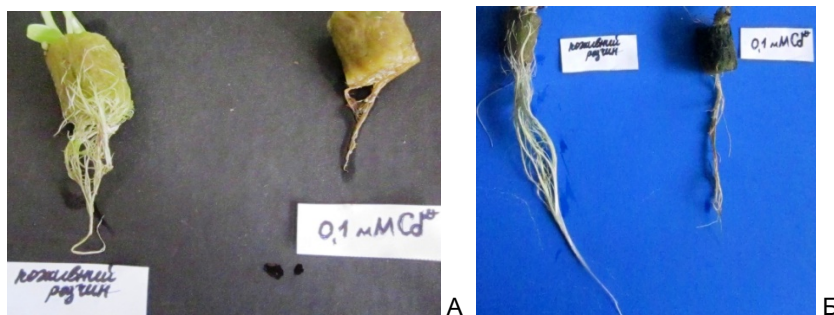


Рис. 2. Стан коренів рослин *L. sativa* (контрольний та дослідний варіант) сортів Лоло (а) та Лоло Росса (б) на чотирнадцяту добу дії 0,1 мМ Cd^{2+}

Здатність рослин підтримувати певний рівень водного балансу вважається обов'язковою умовою як росту й розвитку за звичних умов так і стійкості до впливу несприятливих факторів середовища [10]. Будь-які змі-

ни середовища відображають показники водного статусу рослинних клітин – водний дефіцит, відносна тургесцентність та вміст вільної води.

Для зеленого сорту Лоло дефіцит вологи помічено вже на першу добу впливу кадмію з подальшим зростанням протягом експозиції (рис. 3). Це свідчить про негативний вплив кадмію на процеси надходження води через інгібування росту та галуження коренів. Візуально помічено зниження росту та нормального розвитку ко-

рення вже на першу добу експозиції. Надалі (рис. 2) зменшилась кількість бічних коренів – відповідно, значно знизилась всисна здатність підземних органів. Оскільки дія металу лише посилювалася – показники водного дефіциту дослідних рослин зеленого салату зростали до 33 % на 14 добу експозиції.

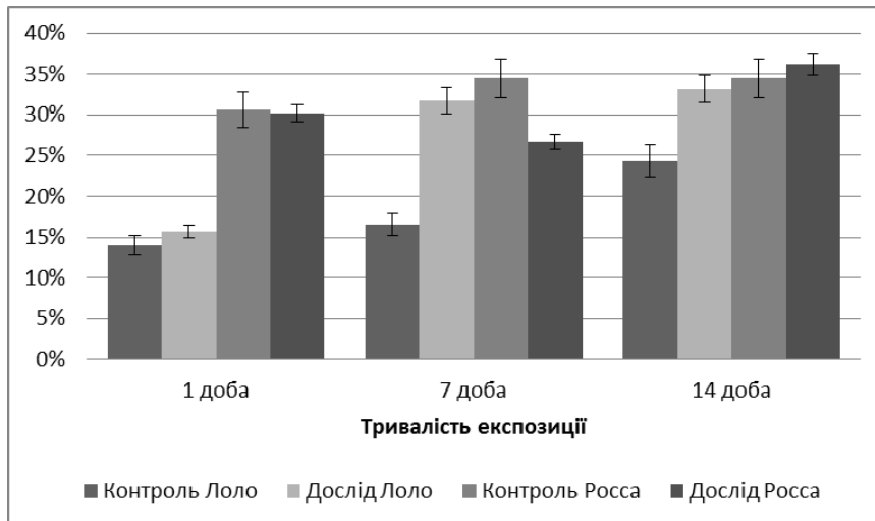


Рис. 3. Показники водного дефіциту рослин *L. sativa* сорту Лоло та Лоло Росса за дії 0,1 мМ Cd²

Візуально помічено зниження росту та нормально-го розвитку кореня вже на першу добу експозиції. Надалі (рис. 2) зменшення кількості бічних коренів очевидно призводить до зниження сисної сили тканин підземних, а надалі й надземних органів. Оскільки дія металу лише посилювалася – показники водного дефіциту дослідних рослин зеленого салату зростали до 33 % на 14 добу експозиції.

На відміну від зеленого, показники водного дефіциту антоціанового сорту салату значно відрізнялися. На першій добі експозиції показники дослідних рослин дос-

товірно не відрізнялися від стану контролю, а до сьомої доби помічено значно нижчі (на 23 %) від контролю показники нестачі води дослідних зразків. Наприкінці досліду зафіксовано вирівнювання результатів (рис. 3).

Отримані дані характеризують водний статус рослин в умовах кадмієвого забруднення та вказують на розвиток водного дефіциту в умовах стресу. Показник відносної тургесцентності характеризує рівень оводненості рослинних клітин та є підґрунтям для визначення вмісту вільної, метаболічно активної води, яка вказує на загальний стан метаболізму рослини [19].

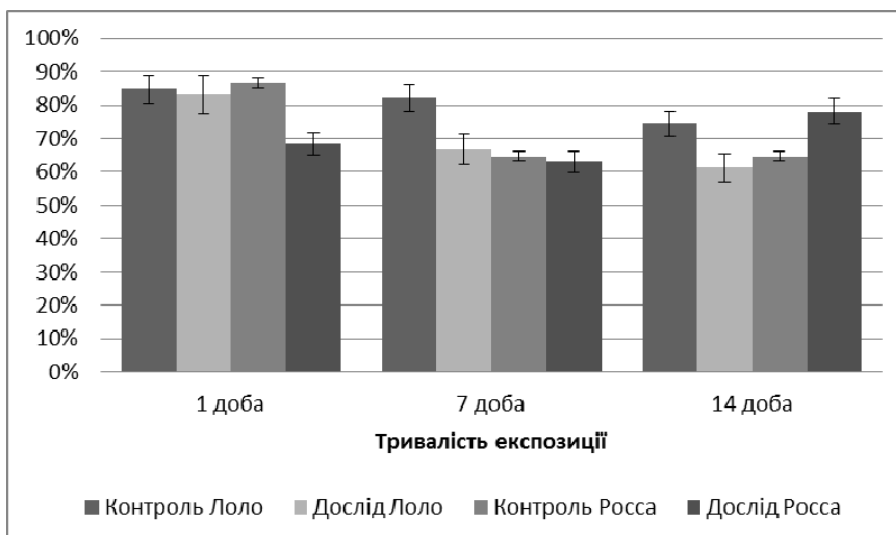


Рис. 4. Параметр відносної тургесцентності рослин *L. sativa* сорту Лоло та Лоло Росса за дії 0,1 мМ Cd²

Протягом експозиції у дослідних рослин зеленого салату помічено поступове зниження рівня оводненості та вмісту вільної води. Пік зниження тургесцентності припадав на сьому добу та мав значення на 15 % нижче контролю (рис. 4), а вільної води – на 14-ту добу зі зниженням на 28 % від контрольних значень.

У червоного (антоціанового) салату помічено зниження відносної тургесцентності на 22 % на першу добу, з подальшим зростанням до 20 % значень контролю на 14-ту добу. Також для червоного салату відзначено зростання показника вмісту вільної води на 26 % на першу добу експозиції з подальшим зрівнянням з контролем (рис. 5).

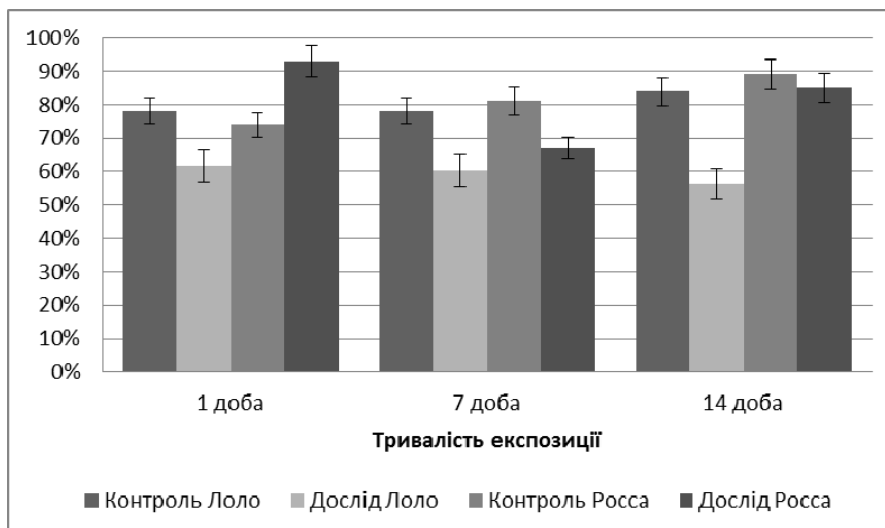


Рис. 5. Вміст вільної води в рослин *L. sativa* сорту Лоло та Лоло Росса за дії 0,1 мМ Cd²

Наведені характеристики водного статусу можуть бути ознакою зменшення водоутримувальної здатності клітин дослідних зразків сорту Лоло та збігаються з даними про зменшення сирової біомаси рослин за дії токсиканту, на відміну від червоного сорту Росса, де показники водного обміну зрівнювались із контрольними значеннями до 14-ї доби експозиції в 0,1 мМ кадмію.

Серед адаптивних стратегій щодо зниження токсичного ефекту кадмієвого забруднення також виділяють накопичення в клітинному соку осмотично активних речовин – фруктоз та амінокислот (бетаїн, пролін),

мінеральних солей, сполук фенольної природи та особливо цукрів [8]. Згідно з отриманими даними, зростання концентрації клітинного соку на 20 % зафіксовано в дослідних зразках сорту Лоло на першу добу дії поллютанту, проте з тривалістю експозиції показник знижувався на 31 % від рівня контролю на 14-ту добу (рис. 6). Очевидно зміна водного статусу листків зеленого сорту у поєднанні з токсичним впливом кадмію на параметри продуктивності фотосинтезу [7, 15] призвели також до зниження вмісту цукрів.

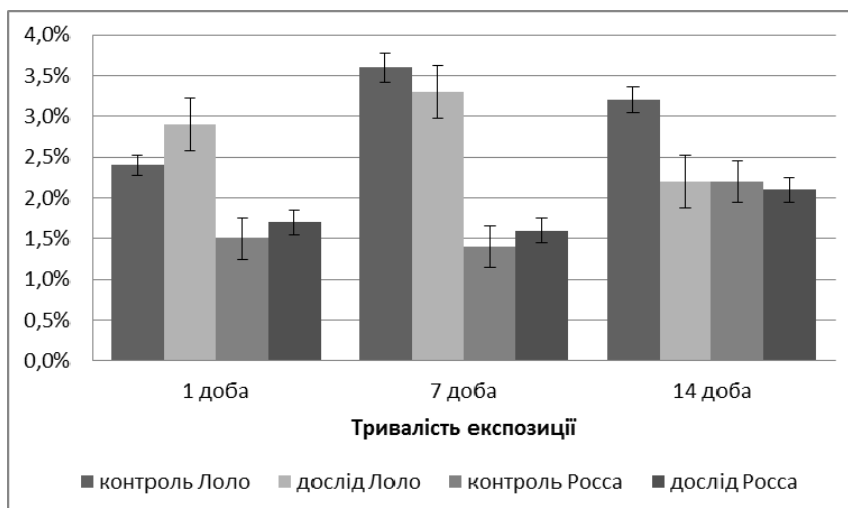


Рис. 6. Показник концентрації клітинного соку рослин *L. sativa* сорту Лоло та Лоло Росса за дії 0,1 мМ Cd²

Для дослідних зразків антоціанового сорту Лоло Росса не помічено достовірної різниці показника концентрації клітинного соку з контрольними значеннями протягом експозиції в 0,1 мМ кадмію.

Однією із адаптивних змін у відповідь на спрямовану дію важких металів першого класу токсичності є модифікації продигового апарату листків рослин [13]. Тому, окрім прямих обчислень параметрів водного обміну, було здійснено стоматографічний аналіз щіль-

ності та стану продигов епідерми листків досліджуваних рослин (рис. 7). Епідерміс складається з поліфункціональної покривної тканини, що відображає пристосувальні зміни рослини до несприятливих факторів середовища на анатомо-морфологічному рівні [18]. Листки *L. sativa* амфістоматичні, проте більшість продигових клітин зосереджено на абаксальній (нижній) поверхні листової пластинки.

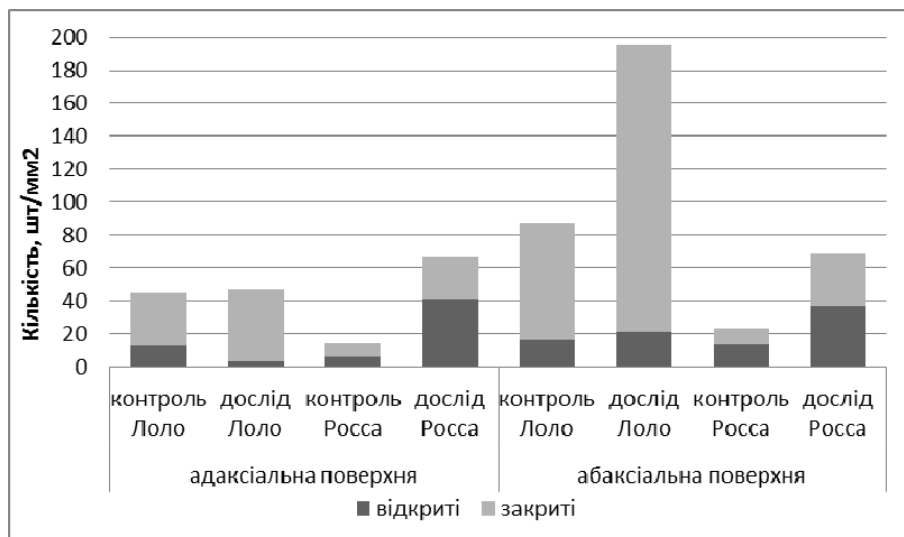


Рис. 7. Кількість та співвідношення продихів рослин *L. sativa* сорту Лоло та Лоло Росса на 14-ту добу експозиції в 0,1 мМ Cd²

Протягом експерименту для рослин сорту Лоло не помічено значних змін кількості та стану продихових апаратів на адаксіальній поверхні листків дослідних зразків, проте на абаксіальній поверхні станом на 14-ту добу експозиції помічено двократне зростання кількості продихів дослідних зразків з яскравим проявом ксероморфності ознак, що співвідноситься зі зростанням показників водного дефіциту. Більшість продихів була в закритому стані.

Під час здійснення стоматографічного аналізу рослин червоного салату Росса було виявлено протилежну до зеленого сорту тенденцію. У зразках червоного салату помічено менш щільне розташування протягом дослідів та відсутність значної різниці в кількості продихів на 1 мм² обох поверхонь листової пластинки дослідних рослин до 14-ї доби експозиції. Зафіксовано також двократне зростання кількості продихів порівняно з контрольними листками на 14 добу впливу металу; більшість продихів зафіксовано у відкритому стані на момент аналізу, що може свідчити про інтенсивні процеси метаболізму рослини, що проявлялось у зростанні вмісту вільної води, а отже, і активізації процесу транспірації.

Отже, за отриманим результатами, зелений та червоний сорти салату мають відмінні стратегії пристосування до забруднення наявності важких металів у середовищі зростання. Згідно з характеристикою параметрів водного обміну та стоматографічного аналізу можна стверджувати про вищі адаптивні можливості сорту Лоло Росса до певного стресового фактора порівняно із сортом Лоло.

Висновки. Згідно з отриманими результатами, виявлено значний вплив іонів важкого металу на оводненість клітин, що проявляється у нестачі вільної води, закритті та зменшенні продихів, в'ялості та зменшенні вегетативної маси і свідчить про перебування рослини у стресовому стані. Проте, високий індекс толерантності, незначне зростання показників відносної тургесцентності на фоні зниження водного дефіциту дослідних рослин червоного сорту салату Лоло Росса свідчить про інтенсивне залучення ними адаптаційних процесів для детоксикації іонів кадмію порівняно з дослідними рослинами зеленого сорту Лоло. Результати також вказують на зниження рівня вільної води та концентрації клітинного соку дослідних рослин сорту Лоло порівняно з червоним Росса.

За дії кадмію у дослідних рослин обох сортів відзначено ксероморфність листової пластинки і значне зростання кількості продихів. Однак більшість продихів у дослідних рослин зеленого салату перебувала у закритому стані, тоді як у червоного – половина з них була відкритою.

Список використаних джерел:

1. Cadmium uptake in above-ground parts of lettuce (*Lactuca sativa* L.) / X. Tang, Y. Pang, P. Ji et al. // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2016. – № 125. – С. 102–106. doi: 10.1016/j.ecoenv.2015.11.033.
2. The uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants, their effects on plants nutrients, and associated health risk: a review / A. Khan, S. Khan, M. A. Khan et al. // *Environ Sci Pollut Res*. – 2015. – № 22. – С. 13772 (15). doi: 10.1007/s11356-015-4881-0.
3. Гончарук Е. А. Тяжелые металлы: поступление, токсичность и защитные механизмы растений (на примере ионов кадмия) / Е. А. Гончарук, Н. В. Загоскина // *Вісн. Харк. нац. аграрн. ун-ту. Серія Біологія*. – 2017. – № 1 (40). – С. 35–49.
4. Trace metals in phosphate fertilizers used in Eastern Mediterranean countries / V. Azzi, V. Kazpard, B. Lartiges et al. // *Clean Air Soil Water*. – 2017. – № 45. – Forthcoming.
5. Akhter Fardausi. Cadmium Accumulation and Distribution in Lettuce and Barley. Electronic Thesis and Dissertation Repository / Fardausi Akhter. – 2012. – P. 756.
6. Lettuce (*Lactuca sativa*): a species with a high capacity for cadmium (Cd) accumulation and growth stimulation in the presence of low Cd concentrations / W. Zorrig, A. El Khouni, T. Ghnaya et al. // *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. – 2013. – № 88(6). – С. 783–789. doi: 10.1080/14620316.2013.11513039.
7. Хоменко І. М. Вплив іонів кадмію та есенціальних нанометалів на фізіолого-біохімічні параметри рослин салату посівного / І. М. Хоменко, О. І. Косик, Н. Ю. Таран // *Вісн. Київ. ун-ту. Серія Біологія*. – 2018. – № 1(75). – С. 37–45.
8. Exogenous proline mediates alleviation of cadmium stress by promoting photosynthetic activity, water status and antioxidative enzymes activities of young date palm (*Phoenix dactylifera* L.) / M. Zouari, Ch. Ben Ahmed, W. Zorrig et al. // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2016. – № 128. – С. 100–108. doi: 10.1016/j.ecoenv.2016.02.015.
9. Phenylalanine ammonia-lyase activity and anthocyanin content in different varieties of lettuce under the cadmium influence / О. І. Косик, І. М. Хоменко, Л. М. Батманова et al. // *The Ukrainian Biochemical Journal*. – 2017. – № 89 (2). – С. 85–91. doi: 10.15407/ubj89.02.085.
10. Стимулююча дія низьких концентрацій алюмінію на фізіологічний стан рослин грецької татарської (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) / О. Є. Смірнов, Н. Ю. Таран, А. М. Косян та ін. // *Вісн. Харків. нац. ун-ту імені В. Н. Каразіна, Серія Біологія*. – 2014. – № 23. – С. 107–116.
11. Паршикова Т. В. Фізіологія рослин. Практикум / Т. В. Паршикова. – Луцьк: ВМА "Терен", 2010. – 416 с.
12. Alleviation of cadmium toxicity in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants by the exogenous application of salicylic acid / M. Semida Wael, M. Rady Mostafa, A. Abd El-Mageed Taia et al. // *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. – 2015. – № 90(1). – С. 83–91. doi: 10.1080/14620316.2015.11513157.
13. Морфологічні показники *Fagopyrum esculentum* в умовах алюмокислого стресу / О. Є. Смірнов, А. М. Косян, О. І. Косик та ін. // *Укр. бот. журн.* – 2014. – № 71 (4). – С. 511–516.

14. Fedenko V. S. Complexation of cyanidin with cadmium ions in solution / V. S. Fedenko, S. A. Shemet, V. S. Struzhko // *Ukrainian Biochem. J.* – 2005. – № 77. – С. 104–109. doi: 10.13140/RG.2.1.1461.8647.

15. A critical review on effects, tolerance mechanisms and management of cadmium in vegetables / M. Rizwan, Sh. Ali, M. Adrees et al. // *Chemosphere.* – 2017. – № 182. – С. 90–105. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.05.013.

16. Effect of cadmium uptake on growth and physiology of water lettuce / M. Varun, C. O. Ogunkunle, C. Sarathambal et al. // *Indian Journal of Weed Science.* – 2017. – № 49(1). – С. 102–104. doi: 10.5958/0974-8164.2017.00028.4.

17. Кавулич Я. Вплив саліцилової кислоти на пігментну систему рослин гречки за токсичного впливу кадмію хлориду / Я. Кавулич, М. Кобилецька, О. Терек // *Вісн. Львів. ун-ту. Серія біологічна.* – 2016. – Вип. 72. – С. 210–217.

18. Овруцька І. І. Анатомо-морфологічні ознаки листків у різних умовах зростання / І. І. Овруцька // *Укр. бот. журн.* – 2012. – № 69(1). – С. 125–133.

References:

1. Tang X et al. Cadmium uptake in above-ground parts of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 2016;125:102–106. doi:10.1016/j.ecoenv.2015.11.033

2. Khan A, Khan S, Khan MA, et al. The uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants, their effects on plants nutrients, and associated health risk: a review. *Environ Sci Pollut Res.* 2015;22:13772. doi:10.1007/s11356-015-4881-0

3. Goncharuk EA, Zagorskina NV. Heavy metals: uptake, toxicity and protective mechanisms in plants (for example of cadmium). *Bulletin of Kharkiv national agrarian university named after V.V. Dokuchayev. Biology.* 2017;1 (40):35-49. Russian.

4. Azzi V, Kazpard V, Lartiges B, et al. Trace metals in phosphate fertilizers used in Eastern Mediterranean countries. *Clean Air Soil Water.* 2017 Jan 13;45(1). Epub Sept 2016. doi:10.1002/clen.201500988

5. Akhter Fardausi. Cadmium Accumulation and Distribution in Lettuce and Barley. *Electronic Thesis and Dissertation Repository.* 2012; paper 756

6. Zorrig W, El Khouni A, Ghnaya T, Davidian JC, Abdely Ch, Berthomieu P. Lettuce (*Lactuca sativa*): a species with a high capacity for cadmium (Cd) accumulation and growth stimulation in the presence of low Cd concentrations. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology.* 2013; 88(6):783-789. doi:10.1080/14620316.2013.11513039

7. Khomenko I, Kosyk O, Taran N. The influence of cadmium and essential nanometals on the physiological and biochemical parameters of lettuce plants. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series: biology.* 2018; 1(75):37-45. Ukrainian.

8. Zouari M et al. Exogenous proline mediates alleviation of cadmium stress by promoting photosynthetic activity, water status and antioxidative enzymes activities of young date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 2016;128:100–108. doi: 10.1016/j.ecoenv.2016.02.015

9. Kosyk OI, Khomenko IM, Batsmanova LM, et al. Phenylalanine ammonia-lyase activity and anthocyanin content in different varieties of lettuce under the cadmium influence. *The Ukrainian Biochemical Journal.* 2017;89(2):85-91. doi:10.15407/ubj89.02.085.

10. Smirnov OE, Taran NYu, Kosyan AM, et al. Challenging action of low-dose aluminium on physiological condition of Tartary Buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) plants. *The Journal of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series: biology.* 2014;23:107-116. Ukrainian.

11. Parshykova T.V. *Fiziologhiia roslin. Praktykum.* Lutsk: VMA Teren; 2010. 416 p. Ukrainian.

12. Semida Wael M, Rady Mostafa M, Abd El-Mageed Taia A, Howladar Saad M, Abdelhamid Magdi T. Alleviation of cadmium toxicity in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants by the exogenous application of salicylic acid. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology.* 2015; 90(1): 83-91, doi: 10.1080/14620316.2015.11513157

13. Smirnov OE, Kosyan AM, Kosyk OI, Taran N.Yu. Morphophysiological traits of *Fagopyrum esculentum* in response to aluminium-acid stress. *Ukr. Botanical J.* 2014; 71 (4): 511-516. Ukrainian.

14. Fedenko VS, Shemet SA, Struzhko VS. Complexation of cyanidin with cadmium ions in solution. *Ukrainian Biochem. J.* 2005; 77:104-109. doi: 10.13140/RG.2.1.1461.8647

15. Rizwan M et al. A critical review on effects, tolerance mechanisms and management of cadmium in vegetables. *Chemosphere.* 2017; 182:90-105. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.05.013

16. Varun M et al. Effect of cadmium uptake on growth and physiology of water lettuce. *Indian Journal of Weed Science.* 2017;49(1):102–104. doi: 10.5958/0974-8164.2017.00028.4

17. Kavulych J, Kobyletska M, Terek O. Influence salicylic acid on content of photosynthetic pigments in plants buckwheat for toxic effects of cadmium chloride. *Visnyk of the Lviv University. Series Biology.* 2016; 72: 210–217. Ukrainian.

18. Ovrutskaya II. Anatomical and morphological characters of leaves of *Sium latifolium* L. under different growth conditions. *Ukr. Botanical J.* 2012; 69(1):125-133. Ukrainian.

Надійшла до редколегії 20.08.2018

Отримано виправлений варіант 24.09.2018

Підписано до друку 24.09.2018

Received in the editorial 20.08.2018

Received a revised version on 24.09.2018

Signed in the press on 24.09.2018

И. Хоменко, асп., О. Косык, канд. биол. наук, Н. Таран, д-р биол. наук, проф.
Учебно-научный центр "Институт биологии и медицины",
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

ПАРАМЕТРЫ ВОДНОГО ОБМЕНА РАСТЕНИЙ САЛАТА ПОСЕВНОГО ПРИ ДЕЙСТВИИ ИОНОВ КАДМИЯ

Согласно цели работы исследовано влияние ионов кадмия на показатели водного обмена в растениях *Lactuca sativa* L. двух сортов с различным содержанием антоциановых пигментов (Лоло и Лоло Росса). В работе были использованы однемесячные растения в среду питания которых добавляли 0,1 ммоль кадмия в форме сульфата в течение четырнадцати суток. Исследуемые параметры включали: показатель водного дефицита, относительной туресценции, содержания свободной воды, концентрации клеточного сока, плотности и состояния устьиц, а также индекса толерантности. В работе использованы весовые, рефрактометрические, микроскопические и аналитические методы исследования. Согласно полученным результатам было обнаружено разнонаправленность ответа растений данных сортов салата на действие ионов кадмия. В частности, для зеленого сорта Лоло зафиксировано возрастание водного дефицита в течение экспозиции, снижение параметров оводненности, свободной воды и концентрации клеточного сока от уровня контроля на 14 сутки экспозиции, тогда как для красного сорта Лоло Росса отмечено снижение водного дефицита, рост параметров относительной туресценции и свободной воды на 14 сутки экспозиции на фоне отсутствия достоверной разницы в концентрации клеточного сока. Кроме того, у обоих сортов наблюдалось развитие ксероморфных признаков листьев и особенно плотности устьиц. Однако у зеленого сорта Лоло большинство из них зафиксировано в закрытом состоянии, в отличие от красного сорта Росса. В итоге выявлено, что зеленый и красный сорта салата имеют отличные стратегии приспособления к наличию тяжелых металлов в среде питания. Согласно характеристике параметров водного обмена и стоматографического анализа можно утверждать о более высоких адаптивных возможностях сорта Лоло Росса к данному стрессовому фактору по сравнению с сортом Лоло.

Ключевые слова: ионы кадмия, индекс толерантности, водный обмен, стоматография, *Lactuca sativa* L.

I. Khomenko PhD-stud., O. Kosyk, Associate prof., N. Taran., Dr. Sc., Prof.
Educational and Scientific Center "Institute of Biology and Medicine",
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

WATER EXCHANGE PARAMETERS OF LETTUCE PLANTS UNDER THE ACTION OF CADMIUM IONS

According to the purpose of the work, the effect of cadmium ions on the water exchange parameters in green Lolo and red Lolo Ross varieties of *Lactuca sativa* L. was investigated. In the experiment one-month plants grown on the medium where 0.1 mM cadmium was added in the sulfate form for fourteen days were used. The investigated parameters included: water deficit index, relative turgescence, free water content, cellular juice concentration, stomatal density and condition, and tolerance index. The weighable, refractometric, microscopic and analytical methods of research were used during the investigation. Due to the results, the various plant response to the cadmium ions action in these lettuce varieties was revealed. In particular, the water deficit growth, reduction of the relative turgescence parameter, the free water content and concentration of cellular juice compared with the control level during the exposure was recorded in the green Lolo variety. Whereas, the water deficit decrease, an increase in the parameters of relative turgescence and free water content to the fourteenth day of exposure was noted for the red Lolo Ross variety. And also the absence of a reliable difference in the parameter of the concentration of cell juice. In addition, in both varieties, there was an increase in xeromorphism of the leaf blades, and in particular the stomata density. But in Lolo variety, most were locked in, unlike the Ross variety. According to the characteristics of the water exchange and stomatal analysis, it can be argued about the higher adaptive capacities of the Lolo Ross variety to this stress factor, compared with the Lolo variety.

Key words: Cadmium ions, tolerance index, water exchange, stomata, *Lactuca sativa* L.