

УДК 543.42;581.132;581.54;581.522.4

DOI: <https://doi.org/10.17721/1728.2748.2024.97.28-33>

Наталія НУЖИНА, канд. біол. наук, ст. дослідник

ORCID ID: 0000-0002-4404-4502

e-mail: nuzhynan@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Ольга ГАЙДАРЖИ, провід. біолог

ORCID ID: 0009-0002-4367-4032

e-mail: olgasn.olgasn@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

СТІЙКІСТЬ *NERIUM OLEANDER* L. ДО РІЗКОЇ ГІПО- ТА ГІПЕРТЕРМІЇ

Вступ. Глобальні зміни клімату негативно впливають на життєдіяльність аборигенних рослин, зменшуючи видове біорізноманіття. Проте, з іншого боку, підвищення середньорічної температури спричиняє природну міграцію видів і може дати змогу вирощувати рослини із тепліших кліматичних зон, які ще не широко культивуються в Україні. Однією з таких рослин є цінна лікарська та високодекоративна рослина *Nerium oleander* L. Метою роботи було дослідити стійкість рослин виду *N. oleander* до різкої гіпертермії та гіпотермії. Отримані дані можуть бути використані для потенційної можливості розширення ареалу вирощування олеандрів або пролонгування термінів використання цих рослин як вуличних.

Методи. Рослини контрольної групи вирощували за температури +26 °C вдень та 20 °C вночі. Для жаростійкості першу дослідну групу прогрівали протягом 3 год за температури +40 °C у термостаті, а групу рослин, що досліджували на холодостійкість, тримали 3 год у холодильній камері за температури +4 °C. За допомогою спектрофотометра вимірювали вміст малонового діальдегіда як показника стресу, активність супероксид дисмутази та пероксидази як ефективність антиоксидантної системи та спостерігали вплив температурного чинника на пігментну систему олеандрів.

Результати. Дослідження різкого впливу гіпотермії (+4 °C) та гіпертермії (+40 °C) показало, що рослини *N. oleander* дуже добре витримують незначний холодострес і погано витримують різке підвищення температури. Кількість МДА зростає одразу після різкого прогрівання рослин. Після обох стресових впливів у олеандрів більше ніж одразу збільшилась активність супероксид дисмутази (СОД). Загальна кількість флавоноїдів зменшується як при гіпо-, так і при гіпертермії. Дослідження фотосинтезуючої системи також показали відсутність негативного впливу різкого зниження температури до +4 °C. Однак спостерігалось руйнування хлорофілів та каротиноїдів після короткочасного прогрівання до +40 °C.

Висновки. Дослідження олеандрів показали відсутність негативного впливу різкого похолодання до +4 °C та виражену стресову реакцію у рослин на короткочасне прогрівання до +40 °C. Можливо різке прогрівання саме у супроводі низької вологості повітря є негативним для цих рослин.

Ключові слова: олеандр, антиоксидантна система, жаростійкість, холодостійкість.

Вступ

Глобальні зміни клімату пов'язані зі збільшенням кількості екстремальних подій: підвищення екстремально високих температур або зниження екстремально низьких температур; збільшення інтенсивності опадів або тривалі посухи (Easterling et al., 2000; Rummukainen, 2012). Такі кліматичні зміни супроводжуються різкими коливаннями температури: як раптовими збільшеннями температури, так і спонтанними зниженнями температури (Vasseur et al., 2014; Wright et al., 2021), що робить клімат менш передбачуваним, а вирощування рослин менш успішним. Об'єктами для дослідження механізмів стійкості до впливу зокрема посухи та високих температур до останнього часу були переважно сільськогосподарські рослини (Zandalinas et al., 2016; Hasanuzzaman et al., 2019; Hussain et al., 2019). Проте важливо також досліджувати стресостійкість та життєздатність рослин, що використовуються в ландшафтному дизайні, оскільки зміни клімату ускладнюються ще і негативними чинниками урбанізованого середовища.

Глобальні зміни клімату негативно впливають на життєдіяльність аборигенних рослин, зменшуючи видове біорізноманіття на певних територіях. Подібні проблеми наявні зараз у всьому світі (Lanza, & Stone, 2016; Kannenberg et al., 2019). З іншого боку, підвищення середньорічної температури поступово може дати змогу вирощувати рослини із тепліших кліматичних зон, які ще не достатньо широко культивуються в Україні. Однією із таких рослин є олеандр. В Україні олеандр вирощується на південних берегах Криму у відкритому ґрунті, на іншій території використовують як кімнатну рослину цілий рік та як вуличну рослину із середини весни до середини осені. Олеандри цвітуть від початку літа до середини осені.

Nerium oleander L. – єдиний вид роду *Nerium* L., високий вічнозелений чагарник, родом із Південно-Західної Азії, широко культивується як декоративна рослина в субтропічних регіонах планети (Farooghi, & Tuag, 2018). Олеандр – цінна ландшафтна рослина. Він швидко росте, у період цвітіння рясно вкривається квітами, витримує інтенсивну інсоляцію та невибагливий до ґрунту, має високу стійкість до посухи і засолення ґрунту, добре адаптується до діапазону pH ґрунту від 5 до 8 і вище. У затінених же місцях ріст зазвичай вповільнюється і зменшується кількість квіток.

За даними Довідника Американської медичної асоціації з отруйних і шкідливих рослин, усі частини олеандру отруйні при споживанні людиною чи твариною (Lampe, & McCann, 1985). Незважаючи на небезпеку, олеандр має велике лікувальне значення і використовується при захворюваннях серця, астмі, епілепсії, раку, малярії, тощо (Farooghi, & Tuag, 2018). Екстракт олеандру має потужну протизапальну дію, антибактеріальну дію на грамнегативні бактерії, а також містить фенольні сполуки, що знижують концентрацію вільних радикалів (Farooghi, & Tuag, 2018). Також було виявлено, що квіти *Nerium oleander* є потенційним джерелом природних антиоксидантів (Mohadjerani, 2012). У 2021 р. було проведено дослідження на тваринах, інфікованих SARS-CoV-2, і перевірено профілактичну та терапевтичну ефективність *in vitro* олеандру, серцевого глікозиду, отриманого з рослини *N. oleander*, що продемонстрував потужну протівірусну дію (Plante et al., 2021).

Метою роботи було дослідити стійкість рослин виду *N. oleander* до різкої гіпертермії та гіпотермії. Отримані дані можуть бути використані для потенційної можливості розширення ареалу вирощування олеандрів або пролонгування термінів використання цих рослин як вуличних.

© Нужина Наталія, Гайдаржи Ольга, 2024

Методи

Субтропічні рослини виду *Nerium oleander* L. із колекції Ботанічного саду імені акад. О.В. Фоміна Київського національного університету імені Тараса Шевченка було досліджено на жаростійкість та холодостійкість. Дворічні рослини контрольної групи вирощувались як горщикова культура в контрольованих тепличних умовах за температури +26 °С удень та 20 °С вночі. Для жаростійкості першу дослідну групу прогрівали протягом 3 год за температури +40 °С у термостаті, а групу рослин, що досліджували на холодостійкість, тримали 3 год у холодильній камері за температури +4 °С. Вміст речовин у листках визначали за допомогою спектрофотометра СФ-2000.

Вміст хлорофілів *aib* та загального вмісту каротиноїдів визначали за Ліхтендалером і Бушманом (Lichtenthaler, & Buschmann, 2001). Пігменти екстрагували 80 % ацетоном, поглинання розчину екстракту листя вимірювали за 663 нм, 646 нм і 470 нм. Вміст фотосинтетичних пігментів був представлений у мг/г сирої речовини.

Перекисне окислення ліпідів визначали за вмістом малонового діальдегіду (МДА), який визначали за кольоровою реакцією з тіобарбітуровою кислотою, заснованою на утворенні забарвленого триметинового комплексу, за довжини хвилі $\lambda = 533$ нм. Кількість МДА виражали в ммоль/г сирої речовини (Kumar, & Knowles, 1993).

Активність супероксид дисмутази (СОД) визначали методом, заснованим на здатності СОД конкурувати з нітросинім тетразолієм за супероксидні радикали, що утворюються в результаті фотоокиснення рибофлавіну. Вимірювали за $\lambda = 560$ нм (Giannopolitis, & Ries, 1977). Активність СОД виражали у відносних одиницях активності на 1 мг білка. Вміст білка оцінювали за методом Бредфорда (Bradford, 1976) за $\lambda = 595$ нм і виражали в мг/г сирої речовини.

Пероксидазну активність визначали за швидкістю реакції окиснення бензидину до утворення блакитного продукту його окиснення в присутності H_2O_2 і пероксидази за $\lambda = 590$ нм. Активність пероксидази виражали у відносних одиницях активності на 1 г сухої речовини (Sharifi, & Ebrahimzadeh, 2010).

Загальний вміст флавоноїдів у відсотках виражали в перерахунку на рутин і суху речовину (Shraim et al., 2021), вимірювання проводили за $\lambda = 410$ нм.

Статистичну обробку результатів робили за допомогою програми Prism Graphpad 8 (GraphPad; LaJolla, CA, USA). Достовірність результатів визначали за допомогою мультифакторного аналізу ANOVA з поправкою Tukey. Порівнювали рослини після гіпертермії та гіпотермії між собою та з контрольною групою.

Результати

Nerium oleander – це субтропічна рослина, яку в північній та центральній Україні переважно використовують як декоративну для внутрішніх інтер'єрів, а влітку – і для зовнішнього декору. Дослідження різкого впливу гіпотермії (+4 °С) та гіпертермії (+40 °С) показало, що рослини дуже добре витримують незначний холодострес і погано витримують різку дію температури +40 °С (рис. 1А). Після різкого прогрівання рослин кількість МДА зросла вдвічі. Після обох стресових впливів у листках олеандру більше ніж вдвічі збільшилась активність СОД, тоді як активність пероксидази лише мала тенденцію до зростання при гіпертермії (рис. 1Б, В). Під дією холодостресу пероксидаза мала значення, подібні до контролю. Загальна кількість флавоноїдів зменшується як при гіпо-, так і при гіпертермії (рис. 1Г). Такі результати вказують, з одного боку, на руйнівну дію різкої зміни температури на ці пігменти, а з іншого, на те, що флавоноїди в листках олеандрів не беруть активної участі в антиоксидантній відповіді, викликаній температурними стресами.

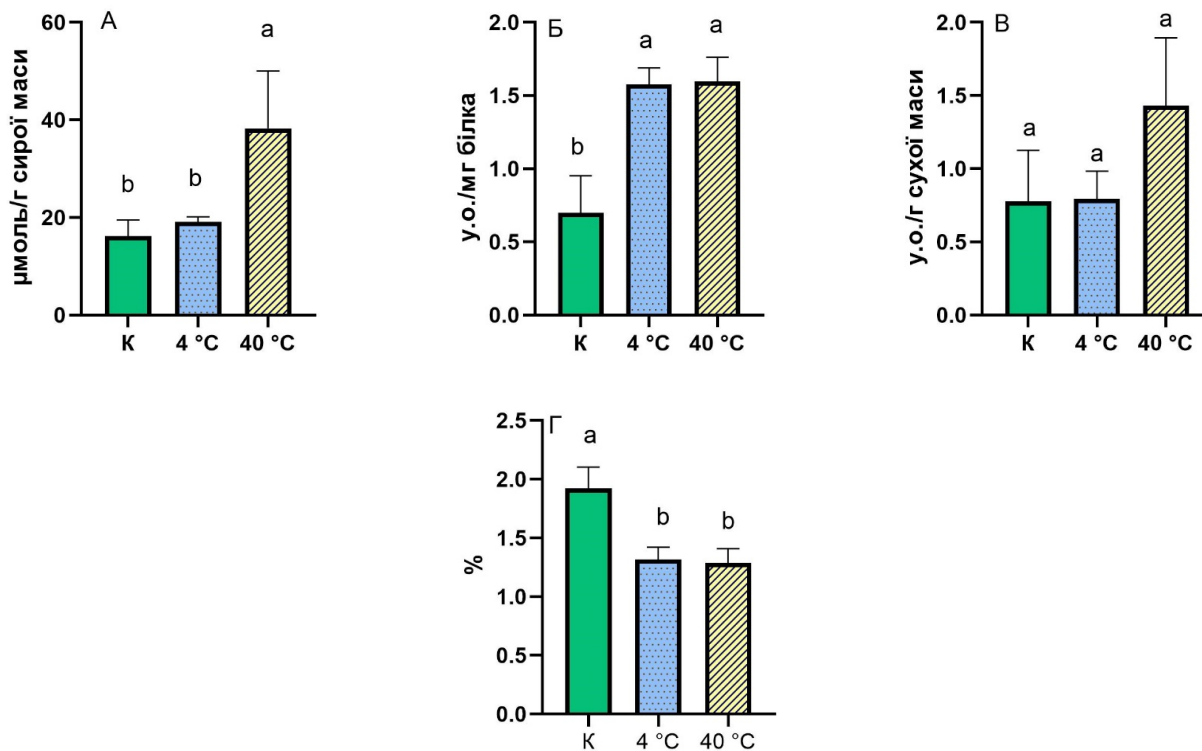


Рис. 1. Вплив гіпо- та гіпертермії на біохімічні маркери про- та антиоксидантної системи в листках *Nerium oleander*: А) МДА, Б) СОД, В) пероксидаза, Г) флавоноїдів

Примітка: у нормі +26 °С (К), після різкого гіпотермічного (+4 °С) і після різкого гіпертермічного впливу (+40 °С). Різні літери (a, b) вказують на достовірну відмінність між групами за $P < 0,05$.

Дослідження фотосинтезуючої системи також показало відсутність негативного впливу різкого похолодання до $+4^{\circ}\text{C}$ на вміст пігментів. Однак після короткочасного прогрівання за $+40^{\circ}\text{C}$ спостерігалось руйнування хлорофілів та каротиноїдів (рис. 2 А, Б, В), причому хлорофіли *a* виявились більш чутливими до

дії гіпертермії, ніж хлорофіли *b*, що відображено в показнику співвідношення хлорофіл *a* / хлорофіл *b* (рис. 2Г). Співвідношення (хлорофіл *a* + хлорофіл *b*) / каротиноїди не показало достовірної відмінності між групами (рис. 2Д).

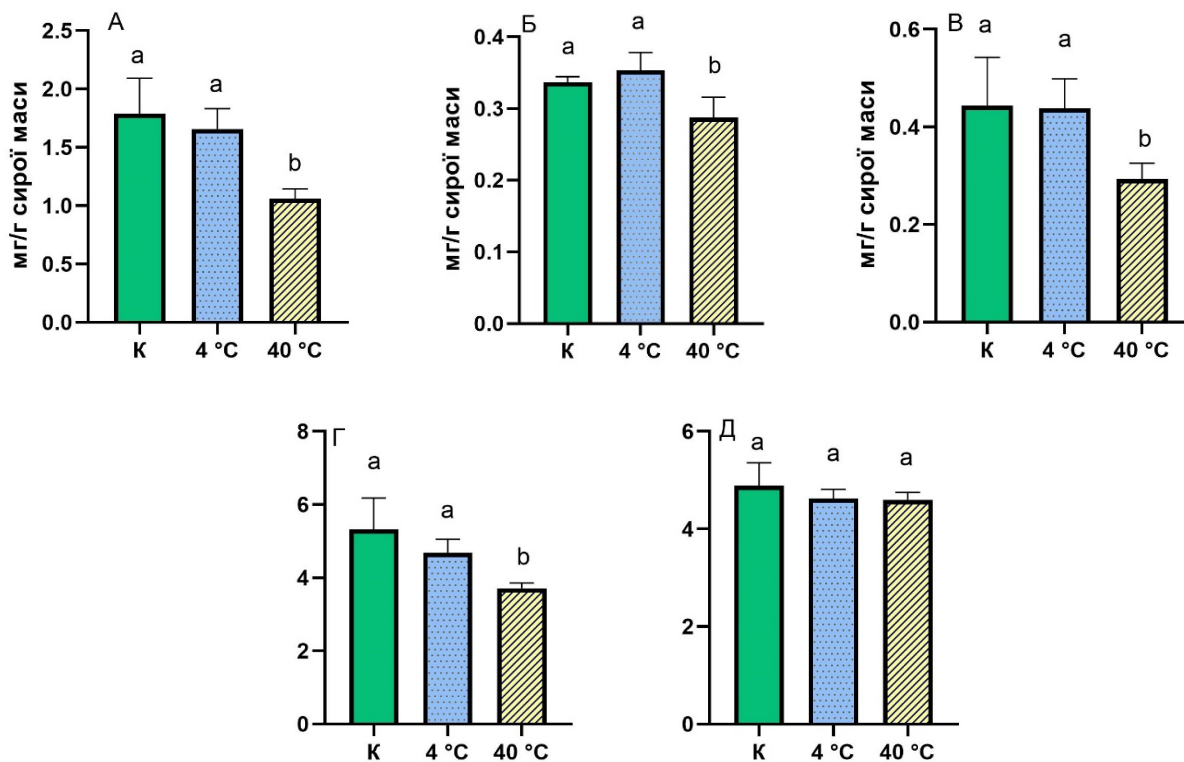


Рис. 2. Вміст пігментів у листках *Nerium oleander*:

А) хлорофіл *a*; Б) хлорофіл *b*; В) каротиноїди; Г) хлорофіл *a* / хлорофіл *b*;
Д) (хлорофіл *a* + хлорофіл *b*) / каротиноїди

Примітка: у нормі $+26^{\circ}\text{C}$ (К), після різкого гіпотермічного ($+4^{\circ}\text{C}$) та після різкого гіпертермічного впливу ($+40^{\circ}\text{C}$). Різні літери (a, b) указують на достовірну відмінність між групами за $P < 0.05$.

У цілому, за вмістом фотосинтетичних пігментів, найбільш виразних показників функціонального стану рослини, виявлено стресове навантаження $+40^{\circ}\text{C}$ гіпертермії на рослини олеандра.

Дискусія і висновки

Як відомо, абіотичні стреси впливають на біохімічні та фізіологічні ознаки рослин (Valizadeh-Kamran et al., 2018; Jamshidi Goharrizi et al., 2020) і можуть як стимулювати, так і пригнічувати утворення певних вторинних метаболітів. Тому дослідження реакцій рослин на температурний стрес дозволить не лише оптимальніше підібрати умови вирощування, краще зрозуміти фізіологічні процеси у цих рослинах, а також і може бути передумовою дослідження вмісту речовин, що мають лікарську цінність у рослинах за наявності стресу.

Результати дослідження показали наявність деструктивного впливу на пігменти фотосинтезуючої системи, посилення перекисного окислення ліпідів, а також збільшення активності ферментів антиоксидантної системи в олеандрів унаслідок різкого підвищення температури до $+40^{\circ}\text{C}$. Різде короткочасне прогрівання за $+40^{\circ}\text{C}$ негативно впливало і на багато сукулентних рослин, зокре-

ма на *Crassula*, *Aylostera*, *Echinocactus* і *Mammillaria* (Nuzhyna et al., 2018; Nuzhyna et al., 2020), які в природі витримують температури вище $+50^{\circ}\text{C}$, однак, при різкому збільшенні температури лише до $+40^{\circ}\text{C}$ ці рослини вже виявляють значне зростання перекисного окислення ліпідів. Оптимальною температурою для вирощування олеандрів вважається $+10 - 15^{\circ}\text{C}$ взимку та $+30 - 38^{\circ}\text{C}$ влітку, толерантною ($-5^{\circ}\text{C} - +43^{\circ}\text{C}$), тоді як критичними вважаються -15°C та $+53^{\circ}\text{C}$ (<https://www.picturethisai.com>).

Таким чином, можна сказати, що особливо небезпечними для рослин у цілому, та олеандрів зокрема, є саме різкі коливання температури, що є одним із негативних проявів глобальної зміни клімату. Під час швидкого нагрівання середовища рослина відчуває стрес навіть за менших значень температури.

Хоча *Nerium oleander* – це вічнозелений чагарник, що походить із Середземноморського регіону та Близького Сходу, і вирощується в посушливих і напівпосушливих регіонах, дослідження його посухостійкості показало, що сильний дефіцит води спричинив пригнічення росту, деградацію фотосинтетичних пігментів, індукцію

окисного стресу, на що вказує накопичення МДА, підвищення загального рівня фенольних сполук і антиоксидантних флавоноїдів, а також специфічної активності аскорбатпероксидази і глутатіонредуктази (Kumar et al., 2017). У наших дослідженнях ми отримали подібні результати в умовах різкого збільшення температури за низької вологості. Також накопичувався МДА, відбувалось руйнування хлорофілів і каротиноїдів, зростала активність пероксидази та СОД, але навпаки, відбувалось зниження загального вмісту флавоноїдів. Таким чином, можна припустити, що низька вологість повітря була додатковим негативним чинником, що посилює як перекисне окислення ліпідів, так й антиоксидантну відповідь на нього.

Різкий короточасний холодний стресор майже не вплинув на рослини *N. oleander*. Спостерігалось лише зменшення загального вмісту флавоноїдів та активація СОД. Також не виявили негативно впливу температури +4 °C на вміст пігментів фотосинтезуючої системи. Тоді як інші поширені в Середземномор'ї рослини роду *Pistacia* L. показали значне зменшення хлорофілів та каротиноїдів після холодного стресу, збільшення кількості МДА та активності антиоксидантних ферментів як після короткотривалої (2 год за температури 4, 0, –2 або –4 °C), так і після довготривалої (4 доби 14/4 °C день / ніч) дії низьких температур (Sajadian et al., 2019; Jamshidi Goharrizi et al., 2021). Останніми роками морозостійкі сорти фісташок набули популярності у садівників різних регіонів України. Також дослідження на ячмені, що традиційно вирощується в Україні, показало збільшення вмісту МДА та H₂O₂ за температури +4 °C (Valizadeh-Kamran et al., 2018).

Таким чином, стійкість олеандру до різкого похолодання до +4 °C вказує на доцільність дослідження реакції цих рослин на значно нижчі температури, що, імовірно, дозволить розширити територію використання цих декоративних лікарських рослин у відкритому ґрунті.

Отримані результати можна пояснити умовами існування в природі *N. oleander*. Субтропічний клімат передбачає високу вологість влітку та різкі перепади температур з холодними вітрами взимку. На території Кримського півострова олеандри ростуть у ґрунті і взимку піддаються короточасним (3–7 днів) зниженням до мінусових температур (близько –10 °C) (<https://www.wunderground.com/forecast/ua/kerch>). Тому вони високоадаптовані до зниження до +4 °C. Тоді як прогрівання до +40 °C на території помірно континентальної зони зазвичай супроводжується низьким рівнем вологості порівняно із субтропічним кліматом, що, у свою чергу, посилює надмірну втрату вологи та ймовірно є стресовим для цих рослин.

Отже, отримані результати показують на стійкість до різкого холоду +4 °C і дозволяють провести подальші дослідження з більш низькими температурами, щоб розуміти, за яких низьких температур можна вирощувати олеандри як вуличні рослини, зокрема в Поліссі та лісостеповій зоні України.

Внесок авторів: Наталія Нухина – автор ідеї дослідження, виконала статистичний аналіз, написала статтю; Наталія Нухина та Ольга Гайдари збирали дані та обговорювали результати.

Подяки, джерела фінансування. Стаття присвячується 185-річчю з дня створення Ботанічного саду імені акад. О.В. Фоміна Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Дослідження виконано за підтримки Міністерства освіти і науки України, науковий напрям "Біологія та охорона здоров'я", тема № 21БНН-05.

Список використаних джерел

- Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248–254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Easterling, D.R., Meehl, G.A., Parmesan, C., Changnon, S.A., Karl, T.R., & Mearns, L.O. (2000). Climate extremes: Observations, modeling, and impacts. *Science*, 289, 2068–2074. <https://doi.org/10.1126/science.289.5487.2068>
- Farooqui, S., & Tyag, T. (2018). Nerium oleander: Its application in basic and applied science: A review. *International Journal of Pharmaceutics and Pharmacological Sciences*, 10(3), 1–4.
- Giannopolitis, C.N., & Ries, S.K. (1977). Superoxide dismutase I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, 2, 309–314.
- Hasanuzzaman, M., Fujita, M., Nahar, K., & Biswas, J.K. (2019). *Advances in rice research for abiotic stress tolerance*. Woodhead publishing, 988. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-01486-6>
- Hussain, H.A., Men, S., Hussain, S., Chen, Y., Ali, S.H., Zhang, S., Zhang, K., Li, Y., Xu, Q., Liao, C., & Wang, L. (2019). Interactive effects of drought and heat stresses on morphophysiological attributes, yield, nutrient uptake, and oxidative status in maize hybrids. *Scientific Reports*, 9, 3890. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40362-7>
- Jamshidi Goharrizi, K., Meru, G., Kermani, S.G., Heidarinezhad, A., & Salehi, F. (2021). Short-term cold stress affects physiological and biochemical traits of pistachio rootstocks. *South African Journal of Botany*, 141, 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.04.029>
- Jamshidi Goharrizi, K., Moosavi, S.S., Amirmahani, F., Salehi, F., & Nazari, M. (2020). Assessment of changes in growth traits, oxidative stress parameters, and enzymatic and non-enzymatic antioxidant defense mechanisms in *Lepidium draba* plant under osmotic stress induced by polyethylene glycol. *Protoplasma*, 257, 459–473. <https://doi.org/10.1007/s00709-019-01457-0>
- Kannenbergh, S.A., Maxwell, J.T., Pederson, N., D'Orangeville, L., Ficklin, D.L., & Phillips, R.P. (2019). Drought legacies are dependent on water table depth, wood anatomy, and drought timing across the eastern US. *Ecology Letters*, 22(1), 119–127. <https://doi.org/10.1111/ele.13173>
- Kumar, D., Hassan, M. A., Naranjo, M. A., Agrawal, V., Boscaiu, M., & Vicente, O. (2017). Effects of salinity and drought on growth, ionic relations, compatible solutes, and activation of antioxidant systems in oleander (*Nerium oleander* L.). *PLoS One*, 12(9), e0185017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185017>
- Kumar, G.N.M., & Knowles, N.R. (1993). Changes in lipid peroxidation and lipolytic and free radical scavenging enzyme activities during aging and sprouting of potato (*Solanum tuberosum*) seed-tubers. *Plant Physiology*, 102, 115–124.
- Lampe, K., & McCann, M. A. (1985). *Ama Handbook of Poisonous and Injurious Plants*. American Medical Association.
- Lanza, K., & Stone, B. (2016). Climate adaptation in cities: What trees are suitable for urban heat management? *Landscape and Urban Planning*, 153, 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.002>
- Lichtenthaler, N., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1, F4.3.1–F4.3.8. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>
- Mohadjerani, M. (2012). Antioxidant activity and total phenolic content of *Nerium oleander* L. grown in the north of Iran. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 11(4), 1121–1126.
- Nuzhyna, N., Baglay, K., Golubenko, A., & Lushchak, O. (2018). Anatomically distinct representatives of the Cactaceae family have different responses to acute heat shock stress. *Flora*, 242, 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2018.03.014>
- Nuzhyna, N.V., Gaidarzhy, M.M., & Holubenko, A.V. (2020). Anatomical structure and antioxidant response to temperature stress in plants of the *Crassula* genus. *Ukrainian Biochemical Journal*, 92(4), 111–123. <https://doi.org/10.15407/ubj92.04.111>
- Plante, K.S., Dwivedi, V., Plante, J.A., Fernandez, D., Mirchandani, D., Bopp, N., Aguilar, P.V., Park, J.-G., Tamayo, P.P., Delgado, J., Shivanna, V., Torrelles, J.B., Martinez-Sobrido, L., Matos, R., Weaver, S.C., Sastry, K.J., & Newman, R.A. (2021). Antiviral activity of oleandrin and a defined extract of *Nerium oleander* against SARS-CoV-2. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 138, 111457. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.111457>
- Rummukainen, M. (2012). Changes in climate and weather extremes in the 21st century. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 3, 115–129. <https://doi.org/10.1002/wcc.160>

- Sajadian, H., Mansoor, S., Hossein, H., Ali, T., & Hojjat, H. (2019). Physiological responses of some rootstocks and interspecific hybrids of pistachio to cold stress under greenhouse conditions. *Journal of Nuts*, 10, 139–151. <https://doi.org/10.22034/jon.2019.1868495.1055>
- Sharifi, G., & Ebrahimzadeh, H. (2010). Changes of antioxidant enzyme activities and isoenzyme profiles during *in vitro* shoot formation in saffron (*Crocus sativus* L.). *Acta Biologica Hungarica*, 61, 73–89. <https://doi.org/10.1556/ABiol.61.2010.1.8>
- Shraim, A.M., Ahmed, T.A., Rahman, M.M., & Hijji, Y.M. (2021). Determination of total flavonoid content by aluminum chloride assay: A critical evaluation. *LWT*, 150, 111932. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111932>
- Valizadeh-Kamran, R., Toorchi, M., Mogadam, M., Mohammadi, H., & Pessarakli, M. (2018). Effects of freeze and cold stress on certain physiological and biochemical traits in sensitive and tolerant barley (*Hordeum vulgare*) genotypes. *Journal of Plant Nutrition*, 41(1), 102–111. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1381730>
- Vasseur, D.A., DeLong, J.P., Gilbert, B., Greig, H.S., Harley, C.D. G., McCann, K.S., Savage, V., Tunney, T.D., & O'Connor, M.I. (2014). Increased temperature variation poses a greater risk to species than climate warming. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281, 20132612. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2612>
- Wright, C.J., Hall, R.J., Banyard, T.P., Hindley, N.P., Krisch, I., Mitchell, D.M., & Seviour, W.J.M. (2021). Dynamical and surface impacts of the January 2021 sudden stratospheric warming in novel Aeolus wind observations, MLS and ERA5. *Weather and Climate Dynamics*, 2, 1283–1301. <https://doi.org/10.5194/wcd-2-1283-2021>
- Zandalinas, S.I., Rivero, R.M., Martínez, V., Gómez-Cadenas, A., & Arbona, V. (2016). Tolerance of citrus plants to the combination of high temperatures and drought is associated with the increase in transpiration modulated by a reduction in abscisic acid levels. *BMC Plant Biology*, 16, 105. <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0791-7>
- References**
- Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248–254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Easterling, D.R., Meehl, G.A., Parmesan, C., Changnon, S.A., Karl, T.R., & Mearns, L.O. (2000). Climate extremes: Observations, modeling, and impacts. *Science*, 289, 2068–2074. <https://doi.org/10.1126/science.289.5487.2068>
- Farooqui, S., & Tyag, T. (2018). Nerium oleander: Its application in basic and applied science: A review. *International Journal of Pharmaceutics and Pharmacological Sciences*, 10(3), 1–4.
- Giannopolitis, C.N., & Ries, S.K. (1977). Superoxide dismutase I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, 2, 309–314.
- Hasanuzzaman, M., Fujita, M., Nahar, K., & Biswas, J.K. (2019). *Advances in rice research for abiotic stress tolerance*. Woodhead publishing, 988. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-01486-6>
- Hussain, H.A., Men, S., Hussain, S., Chen, Y., Ali, S.H., Zhang, S., Zhang, K., Li, Y., Xu, Q., Liao, C., & Wang, L. (2019). Interactive effects of drought and heat stresses on morphophysiological attributes, yield, nutrient uptake, and oxidative status in maize hybrids. *Scientific Reports*, 9, 3890. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40362-7>
- Jamshidi Goharrizi, K., Meru, G., Kermani, S.G., Heidarinezhad, A., & Salehi, F. (2021). Short-term cold stress affects physiological and biochemical traits of pistachio rootstocks. *South African Journal of Botany*, 141, 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.04.029>
- Jamshidi Goharrizi, K., Moosavi, S.S., Amirmahani, F., Salehi, F., & Nazari, M. (2020). Assessment of changes in growth traits, oxidative stress parameters, and enzymatic and non-enzymatic antioxidant defense mechanisms in *Lepidium draba* plant under osmotic stress induced by polyethylene glycol. *Protoplasma*, 257, 459–473. <https://doi.org/10.1007/s00709-019-01457-0>
- Kannenberg, S.A., Maxwell, J.T., Pederson, N., D'Orangeville, L., Ficklin, D.L., & Phillips, R.P. (2019). Drought legacies are dependent on water table depth, wood anatomy, and drought timing across the eastern US. *Ecology Letters*, 22(1), 119–127. <https://doi.org/10.1111/ele.13173>
- Kumar, D., Hassan, M. A., Naranjo, M. A., Agrawal, V., Boscaiu, M., & Vicente, O. (2017). Effects of salinity and drought on growth, ionic relations, compatible solutes, and activation of antioxidant systems in oleander (*Nerium oleander* L.). *PLoS One*, 12(9), e0185017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185017>
- Kumar, G.N.M., & Knowles, N.R. (1993). Changes in lipid peroxidation and lipolytic and free radical scavenging enzyme activities during aging and sprouting of potato (*Solanum tuberosum*) seed-tubers. *Plant Physiology*, 102, 115–124.
- Lampe, K., & McCann, M. A. (1985). *Ama Handbook of Poisonous and Injurious Plants*. American Medical Association.
- Lanza, K., & Stone, B. (2016). Climate adaptation in cities: What trees are suitable for urban heat management? *Landscape and Urban Planning*, 153, 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.002>
- Lichtenthaler, N., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1, F4.3.1–F4.3.8. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>
- Mohadjerani, M. (2012). Antioxidant activity and total phenolic content of *Nerium oleander* L. grown in the north of Iran. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 11(4), 1121–1126.
- Nuzhyna, N., Baglay, K., Golubenko, A., & Lushchak, O. (2018). Anatomically distinct representatives of the Cactaceae family have different responses to acute heat shock stress. *Flora*, 242, 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2018.03.014>
- Nuzhyna, N.V., Gaidarzhy, M.M., & Holubenko, A.V. (2020). Anatomical structure and antioxidant response to temperature stress in plants of the *Crassula* genus. *Ukrainian Biochemical Journal*, 92(4), 111–123. <https://doi.org/10.15407/ubj92.04.111>
- Plante, K.S., Dwivedi, V., Plante, J.A., Fernandez, D., Mirchandani, D., Bopp, N., Aguilar, P.V., Park, J.-G., Tamayo, P.P., Delgado, J., Shivanna, V., Torrelles, J.B., Martinez-Sobrido, L., Matos, R., Weaver, S.C., Sastry, K.J., & Newman, R.A. (2021). Antiviral activity of oleandrin and a defined extract of *Nerium oleander* against SARS-CoV-2. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 138, 111457. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.111457>
- Rummukainen, M. (2012). Changes in climate and weather extremes in the 21st century. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 3, 115–129. <https://doi.org/10.1002/wcc.160>
- Sajadian, H., Mansoor, S., Hossein, H., Ali, T., & Hojjat, H. (2019). Physiological responses of some rootstocks and interspecific hybrids of pistachio to cold stress under greenhouse conditions. *Journal of Nuts*, 10, 139–151. <https://doi.org/10.22034/jon.2019.1868495.1055>
- Sharifi, G., & Ebrahimzadeh, H. (2010). Changes of antioxidant enzyme activities and isoenzyme profiles during *in vitro* shoot formation in saffron (*Crocus sativus* L.). *Acta Biologica Hungarica*, 61, 73–89. <https://doi.org/10.1556/ABiol.61.2010.1.8>
- Shraim, A.M., Ahmed, T.A., Rahman, M.M., & Hijji, Y.M. (2021). Determination of total flavonoid content by aluminum chloride assay: A critical evaluation. *LWT*, 150, 111932. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111932>
- Valizadeh-Kamran, R., Toorchi, M., Mogadam, M., Mohammadi, H., & Pessarakli, M. (2018). Effects of freeze and cold stress on certain physiological and biochemical traits in sensitive and tolerant barley (*Hordeum vulgare*) genotypes. *Journal of Plant Nutrition*, 41(1), 102–111. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1381730>
- Vasseur, D.A., DeLong, J.P., Gilbert, B., Greig, H.S., Harley, C.D. G., McCann, K.S., Savage, V., Tunney, T.D., & O'Connor, M.I. (2014). Increased temperature variation poses a greater risk to species than climate warming. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281, 20132612. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2612>
- Wright, C.J., Hall, R.J., Banyard, T.P., Hindley, N.P., Krisch, I., Mitchell, D.M., & Seviour, W.J.M. (2021). Dynamical and surface impacts of the January 2021 sudden stratospheric warming in novel Aeolus wind observations, MLS and ERA5. *Weather and Climate Dynamics*, 2, 1283–1301. <https://doi.org/10.5194/wcd-2-1283-2021>
- Zandalinas, S.I., Rivero, R.M., Martínez, V., Gómez-Cadenas, A., & Arbona, V. (2016). Tolerance of citrus plants to the combination of high temperatures and drought is associated with the increase in transpiration modulated by a reduction in abscisic acid levels. *BMC Plant Biology*, 16, 105. <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0791-7>

Отримано редакцією журналу / Received: 20.05.24
Прорецензовано / Revised: 21.06.24
Схвалено до друку / Accepted: 21.06.24

Nataliia NUZHYNIA, PhD (Biol.), Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0002-4404-4502
e-mail: nuzhynan@gmail.com
Taras Shevchenko Kyiv National University, Kyiv, Ukraine

Olga GAIDARZHY, Leading Biologist
ORCID ID: 0009-0002-4367-4032
e-mail: olgasn.olgasn@gmail.com
Taras Shevchenko Kyiv National University, Kyiv, Ukraine

RESISTANCE OF *NERIUM OLEANDER* L. TO SHARP HYPO- AND HYPERTHERMIA

Background. Global climate changes have a negative impact on the life of native plants, reducing biodiversity. But on the other hand, the increase in average annual temperature causes the natural migration of species and can make it possible to grow plants from warmer climatic zones, which are not yet widely cultivated in Ukraine. One of these plants is the valuable medicinal and highly decorative plant *Nerium oleander* L. The purpose of this work was to investigate the resistance of *N. oleander* plants to sharp hyperthermia and hypothermia. The obtained data can be used for the potential possibility of expanding the area of oleander cultivation or prolonging the terms of these plants using as street plants.

Methods. The plants of the control group were grown in controlled conditions at a temperature of +26 °C during the day and 20 °C at night. For heat resistance, the experimental group was heated for 3 hours at a temperature of +40 °C in a thermostat, and a group of plants studied for cold resistance was kept for 3 hours in a refrigerating chamber at a temperature of +4 °C. The content of malondialdehyde was measured as an indicator of stress, the activity of superoxide dismutase and peroxidase, as the efficiency of the antioxidant system. The influence of the temperature factor on the pigment system of oleanders was observed with a spectrophotometer.

Results. The study of the sharp effects of hypothermia (+4 °C) and hyperthermia (+40 °C) showed that *N. oleander* plants withstand minor cold stress very well and cannot withstand sudden warming very well. The amount of MDA increased by two times under a sharp warming of the plants. Under both stress exposures, SOD activity increased more than twice in oleanders. The total amount of flavonoids decreases in both hypothermia and hyperthermia. Studies of the photosynthetic system also showed the absence of a negative effect of a sharp cooling down to +4 °C. However, destruction of chlorophylls and carotenoids was observed after short-term heating to +40 °C.

Conclusions. Studies of oleanders have shown the absence of a negative effect of a sharp cooling down to +4 °C and a pronounced stress reaction in plants to a short-term warming up to +40 °C. It is possible that sudden warming accompanied by low air humidity is negative for these plants.

Keywords: oleander, antioxidant system, heat resistance, cold resistance.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.