

УДК 581.132:504.055: 543.42
DOI 10.17721/1728_2748.2020.82.67-72

Н. Нужи́на, канд. біол. наук, А. Голубенко, канд. біол. наук,
Р. Палагеча, канд. біол. наук, О. Футорна, канд. біол. наук,
Н. Гензерська, біолог I категорії, М. Гайдаржи, д-р біол. наук
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ВПЛИВ КОРОТКОТРИВАЛОЇ ГІПЕРТЕРМІЇ НА РЕЛІКТОВІ РОСЛИНИ *GINKGO* L. ТА *MAGNOLIA* L.

У зв'язку з глобальними кліматичними змінами, що супроводжуються різкими коливаннями температури, важливо досліджувати жаростійкість реліктових рослин із метою покращення розуміння механізмів пристосування та виживання організмів за даних умов. Виявлення витриваліших до дії високої температури рідкісних і корисних видів рослин дозволить рекомендувати їх для використання в озелененні, сільському господарстві, медицині тощо. Робота проводилась на магноліях та гінкго, оскільки ці рослини не лише важливі для ландшафтного дизайну у всьому світі, а й ціняться за вміст біологічно активних речовин, які використовують в медицині та сільському господарстві. Рослини *Ginkgo biloba* L., *Magnolia obovata* Thunb., *Magnolia kobus* DC. та *Magnolia denudata* Desr. прогрівали впродовж трьох годин за + 40 °C, контрольна група перебувала за температури + 26 °C. Відповідь на стрес було проаналізовано за рівнем перекисного окиснення ліпідів, активності супероксиддисмутази і пероксидази, а також вмістом флавоноїдів і фотосинтетичних пігментів у досліджуваних рослинах. Фотосинтетична система всіх досліджених видів не була пошкоджена внаслідок дії гіпертермії. Рослини *Ginkgo biloba* показали дуже високу витривалість до дії високої температури та стабільність антиоксидантної та пігментної систем. Представники всіх розглянутих нами видів магнолій можна розмістити в напрямку зниження стійкості до різких змін температури так: *Magnolia kobus* → *Magnolia obovata* → *Magnolia denudata*. Виявлено більшу витривалість до дії високої температури рослин, батьківщиною яких є Японія. Вид *M. denudata* виявився найменш стійким, можливо за рахунок недостатньої активності антиоксидантних ферментів.

Ключові слова: *Ginkgo*, *Magnolia*, малоновий діальдегід, супероксиддисмутаза, пероксидаза, флавоноїди, фотосинтетичні пігменти.

Вступ. Протягом останніх десятиліть спостерігається стійка тенденція до підвищення середньорічної температури повітря [2,10]. Погодні умови стають нестабільнішими – різкі коливання температури й часті відлиги взимку, спека й дефіцит вологи влітку значно впливають на розвиток рослинності. За умов різких змін клімату гіпертермічний стрес є одним з основних видів абіотичного стресу, який обмежує ріст, розвиток та урожайність рослин. Висока температура навколишнього середовища здатна викликати надвиробництво активних форм кисню, які є надзвичайно реакційноздатними та призводять до окиснювального стресу. Протидія окиснювальному стресу полягає у знешкодженні активних форм кисню за допомогою детоксикаційних ферментів, де першою ланкою є супероксиддисмутаза (СОД), пероксидази та каталаза, а наступними ланками – первинні та вторинні метаболіти [13, 21, 23]. Стійкість до високих температур навколишнього середовища і різких перепадів температури є одним із критично необхідних факторів для виживання рідкісних рослин. Реліктові рослини, які пережили глобальні кліматичні зміни, можуть бути показовим модельним об'єктом для вивчення цієї проблеми. Однією з найцікавіших рослин є *Ginkgo biloba* L. – голонасінна реліктова деревна рослина. Рослини класу гінкгових були широко поширені на Землі в мезозойську еру. З другої половини крейдяного періоду залишився практично один рід гінкго. Минуло 7 млн років, як гінкго зник у Північній Америці, і 2,5 млн років, як зник в Європі. У природі рослини гінкго збереглися лише у Китаї. Одним із найдавніших родів покритонасінних є рід *Magnolia* L. Високі рештки цих рослин знайдено в Європі та Східній Азії, Північній Америці, Алясці та Гренландії; на терені України – в палеоцені Путивля. Після льодовикового періоду природний ареал магнолій скоротився до Східної Азії, Північної та Центральної Америки [17]. Проблеми холодостійкості магнолій і гінкго вивчалися багатьма дослідниками [5, 17, 24]. Жаростійкості цих рослин не було приділено достатньо уваги. Магнолії та гінкго – не лише важливі ландшафтні види у всьому світі, а й ціняться за вміст біологічно активних речовин, які використовуються в медицині та сільському господарстві [3, 9, 18, 25]. Саме тому вивчення жаростійкості даних

реліктових рослин має велике не лише теоретичне, а й практичне значення.

Матеріали та методи. Об'єктами дослідження були 4 види з колекції Ботанічного саду імені акад. О. В. Фоміна *Ginkgo biloba* L., *Magnolia obovata* Thunb., *Magnolia kobus* DC., *M. denudata* Desr.

Ginkgo biloba. Сучасною батьківщиною гінкго дволопатевого вважають гору Тяньму (Тяньмушань), розміщену на висоті 1506 м над рівнем моря, також є відомості про острівці у провінціях Гуансі, Гуйчжоу, Сичуань [8].

Magnolia denudata. Походить із Китаю (Аньхой, Хунань, Цзянсу, Гуандун, Гуйчжоу, Фуцзянь, Чжеянган). Занесений як уразливий до Червоного списку видів Китаю [4].

Magnolia obovata. У природі зростає переважно в Японії (Хоккайдо, Хонсю, Сікоку, Кюсю), де піднімається на висоту 600–1800 м над рівнем моря.

Magnolia Kobus. Поширена в Центральній і Північній Японії та Кореї в лісах уздовж гірських потоків [11].

В експерименті використовували листки середнього ярусу з однорічних рослин. Дослідження проводили у другій декаді травня, коли денна температура повітря на вулиці не піднімалася вище + 25 °C, на непристосованих до високих температур рослинах. Дослідні рослини, у горщиках із землею, прогрівали в повітряному термостаті за температури + 40 °C протягом трьох годин. Температуру в термостаті контролювали термометром, розміщеним на рівні рослин. Передня стінка термостата була скляною і рослини перебували в умовах природного освітлення. Ми не використовували додаткового освітлення за термообробки, оскільки відомі факти про посилення інгібуючої дії високих температур на фотосинтетичну систему за яскравого освітлення [6]. Контрольну групу рослин витримували за температури + 25 °C.

Біохімічні дослідження проводили за допомогою спектрофотометра СФ-2000.

Перекисне окиснення ліпідів встановлювали за вмістом малонового діальдегіду (МДА), визначеного за кольоровою реакцією з тіобарбітуровою кислотою, заснованій на утворенні в кислому середовищі забарвленого триметинового комплексу, що має характерний спектр поглинання з максимумом $\lambda = 533$ нм. Кількість малонового діальдегіду виражали в кмоль / г сирової маси [12].

Активність супероксиддисмутази визначали методом, заснованим на здатності супероксиддисмутази

конкурувати з нітросинім тетразолієм за супероксидні радикали, що надходять із реакції фотоокиснення рибофлавіну при $\lambda = 560$ nm. Активність супероксиддисмутази виражали у відносних одиницях активності на мг білка [7]. Вміст білка визначали за методом Warburg and Christian [26] при $\lambda = 595$, у мг / г сирої речовини.

Активність пероксидази визначали за швидкістю реакції окиснення бензидину до утворення синього продукту його окиснення у присутності H_2O_2 і пероксидази при $\lambda = 590$ nm. Активність пероксидази виражали у відносних одиницях активності на 1 г сухої маси [22].

Сумарний вміст флавоноїдів, у перерахуванні на рутин і абсолютноно суху масу у відсотках, визначали за методикою [20] при $\lambda = 410$ nm.

Пігменти екстрагували з рослинного матеріалу 80% ацетоном і визначали спектрофотометричним методом при $\lambda = 663, 646, 470$ nm [14]. Вміст пігментів визначали з розрахунку на масу сирої речовини.

Статистична обробка даних проводилась за допомогою програми Prism GraphPad 6 (GraphPad Software, Inc, 2012, USA). Достовірність результатів

визначали за t -критерієм Ст'юдента для порівняння з контрольною групою.

Результати. Накопичення МДА свідчить про високий рівень перекисного окиснення ліпідів та, відповідно, низьку стійкість рослин до несприятливого зовнішнього середовища. За умов контролю найменша кількість МДА спостерігається у *G. biloba* (рис. 1a), більше того, короткотривалий вплив гіпертермії не вплинув на значення цього показника. Такі результати вказують на дуже високий рівень стійкості рослин цього виду до високотемпературного стресового фактора. Кількість МДА у рослин виду *M. kobus* теж достовірно не змінилася за умов стресу, лише мала тенденцію до збільшення. У *M. obovata*, поряд із подібним рівнем МДА у контролі до такого у *M. kobus*, за гіпертермії достовірно збільшується рівень перекисного окиснення ліпідів (рис. 1 a), що вказує на меншу стресостійкість цих рослин. Найвищий рівень МДА за умов контролю та різке збільшення його кількості під час температурного стресу у *M. denudata* вказує на найбільшу вразливість рослин цього виду, у тому числі до гіпертермії.

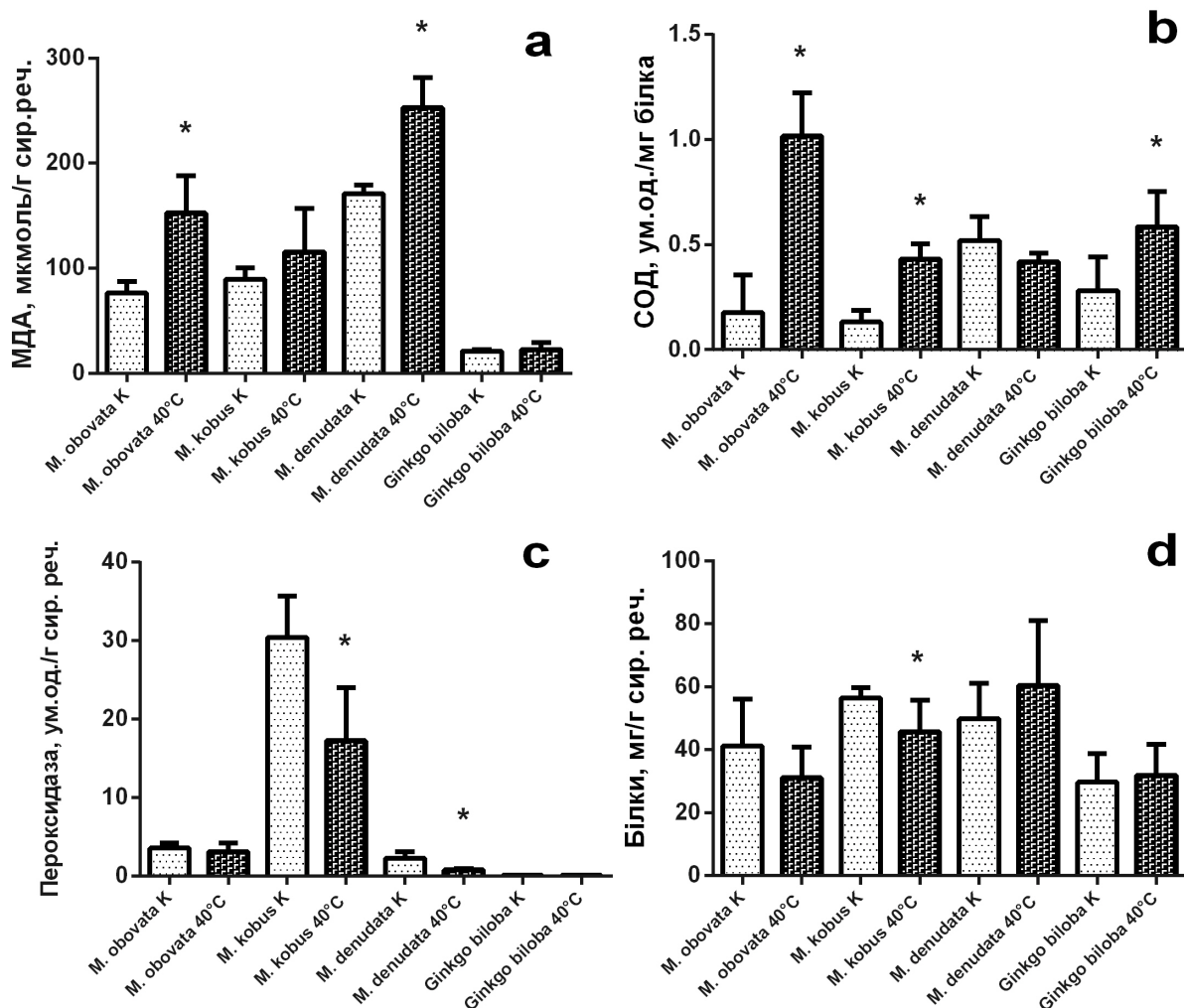


Рис. 1. Активність антиоксидантних ферментів і вміст МДА при гіпертермії у видів родів *Magnolia* та *Ginkgo*

* – $p < 0,05$ відносно контрольної групи.

Активність ферменту СОД за відсутності дії стресового чинника більша у 3-4 рази у представників *M. denudata*, порівняно з іншими досліджуваними групами. Також саме у цієї групи не лише не спостерігається зростання активності СОД за дії стресу, а і можна відмітити тенденцію до зниження активності.

Водночас, у представників інших трьох видів активність СОД достовірно збільшується (у *M. obovata* – у шість разів, втричі у *M. kobus* і вдвічі у *G. biloba*) (рис. 1 b).

Активність пероксидази за умов контролю незначна майже у всіх досліджуваних видів, окрім *M. kobus*. У цього виду активність пероксидази більша від такої у

M. obovata у 8 раз, і аж у 380 раз більша, порівняно з *G. biloba*. У *G. biloba*, як і у *M. obovata* різка гіпертермія не вплинула на активність пероксидази, тоді як у інших двох видів активність цього ферменту знизилася внаслідок стресу (рис. 1 с).

У ході експерименту виявили незначні коливання загального вмісту білка між групами в контролі та після впливу гіпертермії. Лише у представників *M. kobus*

відбувалося зменшення кількості білка внаслідок короткотривалого високотемпературного впливу (рис. 1d).

Кількість флавоноїдів за умов контролю була найбільшою у *M. denudata*, і найменшою у *G. biloba*. Разом із цим, прогрівання рослин не вплинуло на вміст у них флавоноїдів (рис. 2 а).

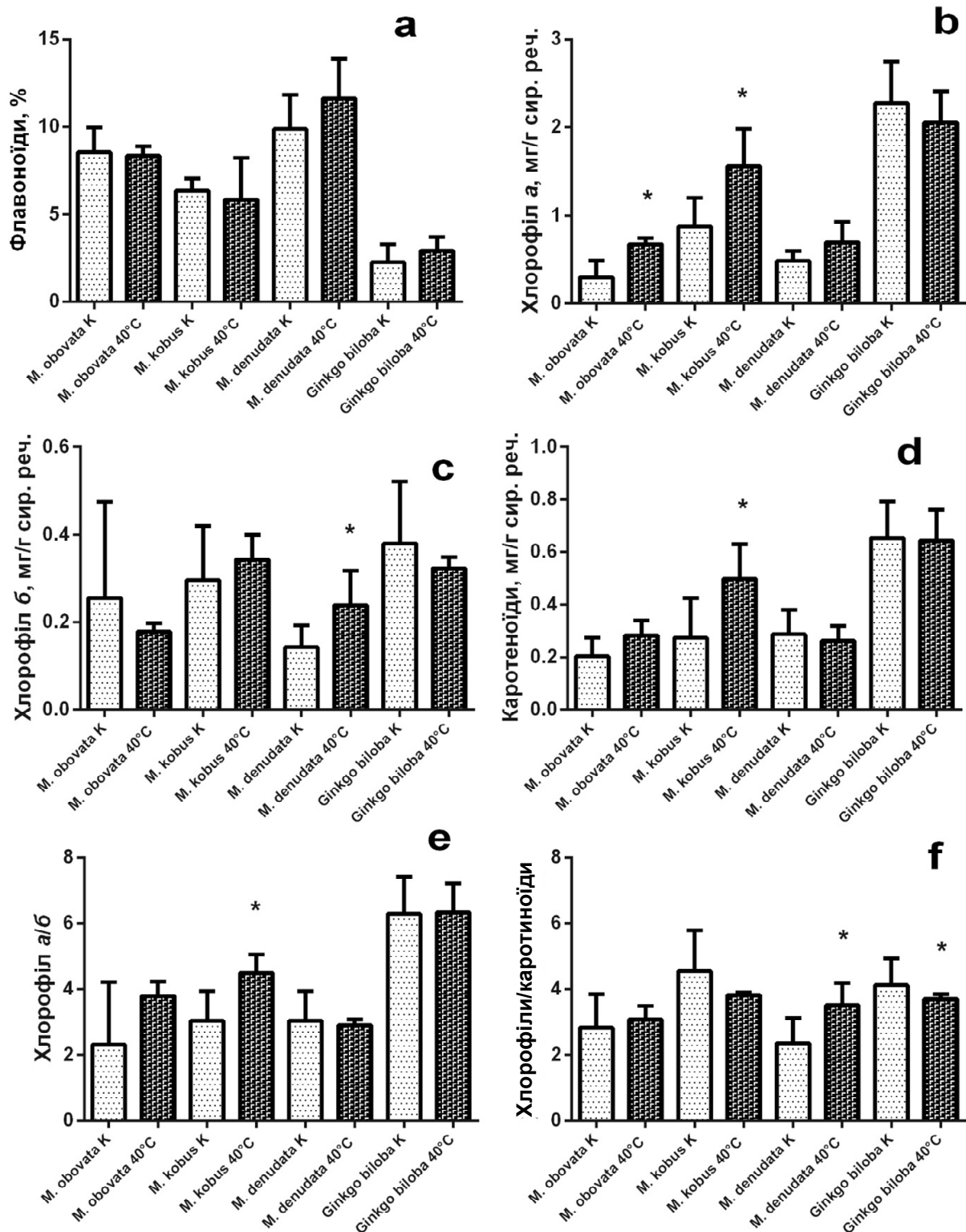


Рис. 2. Стан пігментної системи при гіпертермії у видів родів *Magnolia* та *Ginkgo*

* – $p < 0,05$ відносно контрольної групи.

У контрольній групі, вміст хлорофілу *a* і *b* і каротиноїдів різний у трьох видів. Найбільша кількість хлорофілів за умов контролю наявна у *G. biloba*, особливо відрізняється цей вид за кількістю хлорофілів *a* – більш як у 7, 5, 2 рази від *M. obovata*, *M. denudata*, *M. kobus*, відповідно.

Слід відмітити, що дія гіпертермії або взагалі не вплинула на стан пігментної системи, на прикладі *G. biloba*, або стимулювала синтез на окремих її ланках: хлорофілів *a* – у *M. obovata* і *M. kobus*, хлорофілів *b* – у *M. denudata*, каротиноїдів – у *M. kobus* (рис. 2 б, с, d). Інтенсивніше збільшення кількості хлорофілів *a* порівняно з хлорофілами *b* у *M. kobus* є причиною збільшення коефіцієнта хлорофіл *a* / *b* (рис. 2 е). Достовірне збільшення співвідношення хлорофілів до каротиноїдів у *M. denudata* викликане збільшенням кількості хлорофілів внаслідок теплового стресу поряд із стабільною кількістю каротиноїдів. Хоча у рослин *G. biloba* не спостерігається достовірних змін у пігментній системі, проте, зниження значень співвідношення хлорофіли / каротиноїди підкреслює наявність тенденції до зменшення кількості хлорофілів внаслідок стресу (рис. 2 ф).

Обговорення. У ході дослідження виявлено, що різке збільшення температури до + 40 °С не мало негативного впливу на гінго, про що свідчить відсутність збільшення кількості МДА після прогрівання. Також унаслідок різкого прогрівання вдвічі збільшилась активність СОД, що є однією з перших ланок антиоксидантного захисту. Пероксидаза виявлена в дуже незначній кількості і не бере участі в антиоксидантному захисті вказаних рослин за умов гіпертермії. Також виявили низький рівень флавоноїдів за стресових умов та умов контролю. Можна вважати стабільною і реакцію фотосинтетичної системи на температурний вплив. Зниження показника відношення хлорофілів до каротиноїдів після прогрівання викликано наявністю тенденції до зменшення кількості хлорофілів і каротиноїдів після прогрівання. Відомо, що вміст хлорофілів у листках відображає пристосованість рослин до певної інтенсивності світла. Так, відносно високий вміст хлорофілів у *G. biloba* вказує на більшу тіньовитривалість цих рослин, тоді як рослини *M. denudata* виявилися найсвітлолюбнішими (рис. 2). Відсутність змін на біохімічному рівні внаслідок гіпертермії, окрім зростання активності СОД, може свідчити про високу стабільність цих рослин до стресових умов.

Рослини *M. kobus*, як і *G. biloba*, не мали достовірного підвищення рівня МДА після прогрівання, що може вказувати, з одного боку, на стійкість до впливу температури, а з іншого боку, може пояснюватись ефективною роботою антиоксидантної системи на рівні СОД, каротиноїдів та пероксидази, величезний запас якої в нормі дав змогу вчасно відреагувати на стресову ситуацію. Стратегія накопичення пулу антиоксидантних ферментів за відсутності стресу з подальшим швидким використанням цього пулу зустрічається і в інших рослин [15, 16]. Збільшення кількості хлорофілів *a* після прогрівання також свідчить про активацію захисних механізмів на рівні фотосинтетичної системи. Таким чином, можна вважати ці рослини більш витривалими до дії високої температури.

Представники *M. obovata* гірше, ніж попередні види, реагують на різке підвищення температури, що проявляється у збільшенні майже вдвічі рівня МДА, порівняно з контрольною групою. Проте підвищення активності

СОД майже вп'ятеро внаслідок стресу свідчить про швидку потужну антиоксидантну реакцію на стрес. Зростання СОД після абіотичного стресу відмічають також M. Ardelean у *Sedum telephium* L та S. Panda у *Hydrilla verticillata* L. [1, 19]. Пероксидаза, флавоноїди та каротиноїди не були задіяні у захисних реакціях на короткотривалий стрес у цих рослин. Про стійкість фотосинтетичної системи до різних температурних змін свідчить збільшення кількості хлорофілу *a* та відсутність достовірних змін усіх інших досліджуваних показників цієї системи. У цілому можна стверджувати про достатню витривалість до дії високої температури цих рослин.

Дослідження рослин *M. denudata* показало найвищий серед досліджуваних видів рівень МДА як у контролі, так і після стресового впливу. Це може вказувати на найменш ефективний захист рослин на анатомічному рівні, що обумовлює постійний підвищений фоновий рівень МДА. Також це пояснює найвищий серед розглянутих видів рівень СОД у контрольній групі. Так, активність СОД у *M. denudata* в чотири рази більша, ніж у контрольній групі *M. kobus*. Водночас, дія стресу не впливає достовірно на рівень СОД, лише можна спостерігати тенденцію до незначного зниження активності цього ферменту. Рівень активності пероксидази є найменшим у вказаного виду, а після температурного впливу активність ще знижується, тому можна вважати, що участь цього ферменту в антиоксидантній відповіді незначна. Вміст флавоноїдів і каротиноїдів у представників *M. denudata* є найвищим серед розглянутих видів магнолій за відсутності стресу, однак короткотривалий вплив гіпертермії не змінив достовірно кількість цих пігментів. Про відсутність негативного впливу температури на пігментну систему та наявність додаткового захисного механізму вказує також і збільшення кількості хлорофілів *b*. Отже, можна вважати рослини *M. denudata* найменш витривалі до дії короткотривалої гіпертермії серед досліджених видів.

Висновки. Представники роду *Ginkgo* L. виявилися більше стійкими за дії короткотривалої гіпертермії, ніж види роду *Magnolia* L. Усі розглянуті нами види магнолій можна ранжувати у напрямку зниження стійкості до впливу високих температур: *M. kobus* → *M. obovata* → *M. denudata*, що вказує на більшу витривалість до дії високої температури рослин, батьківщини яких є Японія. Вид *M. denudata* виявився найменш стійким, можливо через недостатню активність антиоксидантних ферментів. Фотосинтетична система усіх досліджених видів не була пошкоджена внаслідок дії гіпертермії.

Список використаних джерел

1. The effect of heat stress on hyperhydricity and guaiacol peroxidase activity (GPOX) at the foliar lamina of *Sedum telephium* L. ssp. *maximum* (L.) Krock. Vitroplantlets / M. Ardelean, D. Cachita-Cosma, A. A. Ardelean et al. // Analele Stiint. Univ. Al. I. Cuza Iasi, Sect. II a. Biol. veget. – 2014. – Vol. 60, № 2. – P. 21–31.
2. Bitá C. E. Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops / C. E. Bitá, T. Gerats // Front Plant Sci. – 2013. – № 4. – P. 273.
3. Ginkgo biloba Extract (EGb) Inhibits Oxidative Stress in Neuro 2A Cells Overexpressing APPsw / L. Chen, Ch. Zhang, Y. Han et al. // BioMed Research International. – 2019. – Vol. 1. – 9 p.
4. Cicuzza D. The Red List of Magnoliaceae / D. Cicuzza, A. Newton, S. Oldfield. – Cambridge, UK, 2007. – 56 p.
5. De novo transcriptome sequencing and gene expression profiling of *Magnolia wufengensis* in response to cold stress / Sh. Deng, J. Ma, L. Zhang et al. // BMC Plant Biology. – 2019. – Vol. 19. – P. 321.
6. Foyer C. H. Oxygen metabolism and the regulation of photosynthetic electron transport. In: Causes of photooxidative stress and amelioration of defense system in plants / C. H. Foyer, J. Harbinson. – Boca Ratón : CRC Press, 1994. – P. 1–42.

7. Giannopolitis C. N. Superoxide dismutase I. Occurrence in higher plants / C. N. Giannopolitis, S. K. Ries // *Plant Physiology*. – 1977. – Vol. 2. – P. 309–314.
8. *Ginkgo biloba* / ed. by Teris A. van Beek. – Amsterdam : Harwood Academic, 2000. – P. 9.
9. Hongbing G. Determination of free phenolics and combined phenolics in foliage of *Magnolia sieboldii* K. Koch / G. Hongbing, W. Huan, D. Fengguo // *Functional Materials*. – 2016. – Vol. 23, № 3. – P. 437–442.
10. Jones P. D. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001 / P. D. Jones, A. Moberg // *Journal of Climate*. – 2003. – Vol. 16. – P. 206–223.
11. Korshuk T. P. *Magnolias* (*Magnolia* L.) / T. P. Korshuk, R. M. Palagecha. – K. : Kyiv University Publishing and Printing Center, 2007. – 208 s.
12. Kumar G. N. M. Changes in lipid peroxidation and lipolytic and free radical scavenging enzyme activities during aging and sprouting of potato (*Solanum tuberosum*) seed-tubers / G. N. M. Kumar, N. R. Knowles // *Plant Physiology*. – 1993. – Vol. 102. – P. 115–124.
13. Heat and drought stresses in crops and approaches for their mitigation / M. Lamaoui, M. Jemo, R. Datla, F. Bekkaoui // *Front Chem*. – 2018. – Vol. 6. – 26 p.
14. Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and carotenoids, pigments of photosynthetic biomembranes / H. K. Lichtenthaler // *Methods in Enzymology*. – 1987. – Vol. 148. – P. 350–382.
15. Anatomically distinct representatives of Cactaceae Juss. family have different response to acute heat shock stress / N. Nuzhyna, K. Baglay, A. Golubenko, O. Lushchak // *Flora*. – 2018. – Vol. 242. – P. 137–145.
16. Nuzhyna N. V. Various antioxidant responses to hyperthermia in anatomically different species of the genus *Rosa* / N. V. Nuzhyna, O. O. Tkachuk // *Biosystems Diversity*. – 2019. – Vol. 27, № 3. – P. 193–199.
17. Palagecha R. Culture of magnolias in Ukraine / R. Palagecha // *Magnolia*. – 2014. – Vol. 49, № 95. – P. 11–30.
18. Palahecha R. Determination of antitumor activity of flavonoid group polyphenols extracts: magnolol, gonokiol and obovatol obtained from magnolia bark (*Magnolia* L.) / R. Palagecha, I. Lisniak // *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Introduktsiia ta zberezhennia roslynnoho riznomanitii*. – 2014. – № 1. – P. 47–51.
19. Panda S. K. Changes in growth and superoxide dismutase activity in *Hydrilla verticillata* L. under abiotic stress / S. K. Panda, M. H. Khan // *Brazilian Journal of Plant Physiology*. – 2004. – Vol. 2. – P. 115–118.
20. Antioxidant potential of solanum spirale shoot and berry: a medicinal plant used in arunachal pradesh / T. Payum, A. K. Das, R. Shakar et al. // *American Journal of Pharmtech Research*. – 2015. – Vol. 5, № 4. – P. 307–314.
21. Higher plant antioxidants and redox signaling under environmental stresses / H. B. Shao, L. Y. Chu, M. A. Shao et al. // *Comptes Rendus Biologies*. – 2008. – Vol. 331, № 6. – P. 433–441.
22. Sharifi G. Changes of antioxidant enzyme activities and isoenzyme profiles during in vitro shoot formation in saffron (*Crocus sativus* L.) / G. Sharifi, H. Ebrahimzadeh // *Acta Biol Hung*. – 2010. – Vol. 61, № 1. – P. 73–89.
23. Suzuki N. Reactive oxygen species and temperature stresses: A delicate balance between signaling and destruction / N. Suzuki, R. Mittler // *Physiologia Plantarum*. – 2006. – Vol. 126, № 1. – P. 45–51.
24. Role of temperature and soil moisture conditions on flavonoid production and biosynthesis-related genes in ginkgo (*Ginkgo biloba* L.) leaves / G. Wang, F. Cao, G. Wang, Y. A. El-Kassaby // *Open Natural Products Chemistry and Research*. – 2015. – Vol. 3, № 1. – P. 1000162.
25. Toxicity and possible mechanisms of action of honokiol from *Magnolia denudata* seeds against four mosquito species / Zh. Wang, H. Perumalsamy, X. Wang, Y.-J. Ahn // *Scientific Reports*. – 2019. – Vol. 9, Article number: 411.
26. Warburg O. Isolierung und Kristallisation des Garungsferments Enolase / O. Warburg, W. Christian // *Biochemistry*. – 1941. – Vol. 310. – P. 384–421.
4. Cicuzza D, Newton A, Oldfield S. The Red List of Magnoliaceae. Cambridge, UK; 2007. 56 p.
5. Deng Sh, Ma J, Zhang L, Chen F, Sang Z, Jia Zh, Ma L. De novo transcriptome sequencing and gene expression profiling of *Magnolia wufengensis* in response to cold stress. *BMC Plant Biology*. 2019;19:321.
6. Foyer CH, Harbinson J. Oxygen metabolism and the regulation of photosynthetic electron transport. In: Causes of photooxidative stress and amelioration of defense system in plants. Boca Ratón: CRC Press; 1994.1-42.
7. Giannopolitis CN, Ries SK. Superoxide dismutase I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*. 1977; 2: 309-314.
8. *Ginkgo Biloba*, ed. by Teris A. van Beek. Amsterdam: Harwood Academic, 2000.
9. Hongbing G, Huan W, Fengguo D. Determination of free phenolics and combined phenolics in foliage of *Magnolia sieboldii* K. Koch *Functional Materials*, 2016; 23(3): 437-442.
10. Jones PD, Moberg A. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *Journal of Climate*. 2003; 16:206-223.
11. Korshuk TP, Palagecha RM. *Magnolias* (*Magnolia* L.) K.: Kyiv University Publishing and Printing Center, 2007. – 208 s. in Ukrainian.
12. Kumar GNM, Knowles NR. Changes in lipid peroxidation and lipolytic and free radical scavenging enzyme activities during aging and sprouting of potato (*Solanum tuberosum*) seed-tubers. *Plant Physiology*. 1993; 102: 115-124.
13. Lamaoui M, Jemo M, Datla R, Bekkaoui F. Heat and drought stresses in crops and approaches for their mitigation. *Front Chem*. 2018; 6: 26.
14. Lichtenthaler HK. Chlorophylls and carotenoids, pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*. 1987; 148: 350-382.
15. Nuzhyna N, Baglay K, Golubenko A, Lushchak O. Anatomically distinct representatives of Cactaceae Juss. family have different response to acute heat shock stress. *Flora*. 2018; 242:137-145.
16. Nuzhyna NV, Tkachuk OO. Various antioxidant responses to hyperthermia in anatomically different species of the genus *Rosa*. *Biosystems Diversity*. 2019; 27(3):193-199.
17. Palagecha R. Culture of magnolias in Ukraine. *Magnolia*. 2014;49(95):11-30.
18. Palahecha R, Lisniak I. Determination of antitumor activity of flavonoid group polyphenols extracts: magnolol, gonokiol and obovatol obtained from magnolia bark (*Magnolia* L.) *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Introduktsiia ta zberezhennia roslynnoho riznomanitii*. 2014;1:47-51. in Ukrainian.
19. Panda SK, Khan MH. Changes in growth and superoxide dismutase activity in *Hydrilla verticillata* L. under abiotic stress. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 2004; 2:115-118.
20. Payum T, Das AK, Shakar R, Tamuly Ch, Hazarika M. Antioxidant potential of solanum spirale shoot and berry: a medicinal plant used in arunachal pradesh, *American Journal of Pharmtech Research*. 2015; 5(4): 307-314.
21. Shao HB, Chu LY, Shao MA, Jaleel CA, Mi HM. Higher plant antioxidants and redox signaling under environmental stresses. *Comptes Rendus Biologies*. 2008; 331(6): 433-441.
22. Sharifi G, Ebrahimzadeh H. Changes of antioxidant enzyme activities and isoenzyme profiles during in vitro shoot formation in saffron (*Crocus sativus* L.). *Acta Biol Hung*. 2010; 61(1): 73-89.
23. Suzuki N, Mittler R. Reactive oxygen species and temperature stresses: A delicate balance between signaling and destruction. *Physiologia Plantarum*. 2006; 126(1): 45-51.
24. Wang G, Cao F, Wang G, El-Kassaby YA. Role of temperature and soil moisture conditions on flavonoid production and biosynthesis-related genes in ginkgo (*Ginkgo biloba* L.) leaves. *Open Natural Products Chemistry and Research*. 2015; 3(1): 1000162.
25. Wang Zh, Perumalsamy H, Wang X, Ahn YJ. Toxicity and possible mechanisms of action of honokiol from *Magnolia denudata* seeds against four mosquito species. *Scientific Reports*. 2019;9:Article number: 411.
26. Warburg O, Christian W. Isolierung und Kristallisation des Garungsferments Enolase. *Biochemistry*. 1941; 310: 384-421.

Reference

1. Ardelean M, Cachita-Cosma D, Ardelean AA, Ladasiu C, Mihali VC. The effect of heat stress on hyperhydricity and guaiacol peroxidase activity (GPOX) at the foliar lamina of *Sedum telephium* L. ssp. *maximum* (L.) Krock. *Vitroplantlets*. *Analele Stiint Univ Al I Cuza Iasi, Sect. II a. Biol veget*. 2014;60(2):21-31.
2. Bitá CE, Gerats T. Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. *Front Plant Sci*. 2013;4: 273. doi: 10.3389/fpls.2013.00273.
3. Chen L, Zhang Ch, Han Y, Meng X, Zhang Y, Chu H, Ma H. *Ginkgo biloba* Extract (EGb) Inhibits Oxidative Stress in Neuro 2A Cells Overexpressing APPsw // *BioMed Research International*. 2019; 1, Article ID 7034983, 9 p.

Надійшла до редколегії 10.09.2020
Отримано виправлений варіант 12.10.2020
Підписано до друку 12.10.2020

Received in the editorial 10.09.2020
Received a revised version on 12.10.2020
Signed in the press on 12.10.2020

Н. Нужи́на, канд. биол. наук, А. Голубенко, канд. биол. наук, Р. Палагеча, канд. биол. наук,
Н. Гензерская, биолог I категории, О. Футорна, канд. биол. наук, М. Гайдаржи, д-р биол. наук
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

ВЛИЯНИЕ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ГИПЕРТЕРМИИ НА РЕЛИКТОВЫЕ РАСТЕНИЯ *GINKGO L.* И *MAGNOLIA L.*

В связи с глобальными климатическими изменениями, которые сопровождаются резкими колебаниями температуры, важно исследовать жароустойчивость реликтовых растений с целью улучшения понимания механизмов приспособления и выживания организмов в данных условиях. Выявление более устойчивых к воздействию высоких температур редких и полезных видов растений позволит рекомендовать их для использования в озеленении, сельском хозяйстве, медицине и т. д. Работа проводилась на магнолиях и гинкго, поскольку эти растения не только важны для ландшафтного дизайна во всем мире, но и ценятся за содержание биологически активных веществ, которые используются в медицине и сельском хозяйстве. Растения *Ginkgo biloba L.*, *Magnolia obovata Thunb.*, *Magnolia kobus DC.* и *Magnolia denudata Desr.* прогревали в течение трех часов при + 40 °C, контрольная группа находилась при + 26 °C. Ответ на стресс был проанализирован по уровню перекисного окисления липидов, активности супероксиддисмутазы и пероксидазы, а также содержанию флавоноидов и фотосинтезирующих пигментов в исследуемых растениях. Фотосинтезирующая система всех исследованных видов не претерпела повреждающего воздействия вследствие действия гипертермии. Растения *Ginkgo biloba* показали очень высокую устойчивость к действию высоких температур и стабильность антиоксидантной и пигментной систем. Представители всех рассмотренных нами видов магнолий можно расположить в направлении снижения устойчивости к резким повышениям температуры так: *Magnolia kobus* → *Magnolia obovata* → *Magnolia denudata*. Обнаружена более высокая устойчивость к гипертермии у растений, родиной которых является Япония. Вид *M. denudata* оказался наименее устойчивым, возможно за счет недостаточной активности антиоксидантных ферментов.

Ключевые слова: *Ginkgo*, *Magnolia*, малоновый диальдегид, супероксиддисмутаза, пероксидаза, флавоноиды, фотосинтезирующие пигменты.

N. Nuzhyna, PhD, A. Holubenko, PhD, R. Palagecha, PhD, O. Futorna, PhD,
N. Genzerska, boil. I category, M. Gaidarzhny, Dr Sci.
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

INFLUENCE OF SHORT-TERM HYPERTHERMIA ON RELICT PLANTS *GINKGO L.* AND *MAGNOLIA L.*

In connection with global climatic changes, which are accompanied by sharp temperature fluctuations, it is important to study the heat resistance of relict plants in order to improve the understanding of the mechanisms of adaptation and survival of organisms in these conditions. Identification of rare and useful plant species more resistant to high temperatures will make it possible to recommend them for use in landscaping, agriculture, medicine, and the like. The work was carried out on magnolias and ginkgo, since these plants are not only important for landscape design all over the world, but are also valued for the content of biologically active substances that are used in medicine and agriculture. Plants of *Ginkgo biloba L.*, *Magnolia obovata Thunb.*, *Magnolia kobus DC.* and *Magnolia denudata Desr.* warmed up for three hours at + 40 °C, the control group was at + 26 °C. The stress response was analyzed for the level of lipid peroxidation, superoxide dismutase and peroxidase activity, as well as the content of flavonoids and photosynthetic pigments in the studied plants. The photosynthesizing system of all studied species did not undergo any damaging effects due to the action of hyperthermia. *Ginkgo biloba* plants have shown very high resistance to high temperatures and stability of the antioxidant and pigment systems. Representatives of all the species of magnolia that we have considered can be positioned in the direction of decreasing resistance to sudden increases in temperature: *Magnolia kobus* → *Magnolia obovata* → *Magnolia denudata*. A higher resistance to hyperthermia was found in plants native to Japan. *M. denudata* was the least resistant species, possibly due to insufficient activity of antioxidant enzymes.

Keywords: *Ginkgo*, *Magnolia*, malondialdehyde, superoxide dismutase, peroxidase, flavonoids, photosynthetic pigments.