

В. П. Бессонова¹✉, С. О. Яковлєва-Носарь², О. Є. Іванченко¹

¹Дніпровський державний аграрно-економічний університет,
вул. Сергія Єфремова, 25а, м. Дніпро, Україна, 49000

²Хортицька національна академія, вул. Наукового містечка, 59,
м. Запоріжжя, Україна, 69017

ЖАРОСТІЙКІСТЬ ЛИСТЯНИХ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН В УМОВАХ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

Вивчено плазматичну жаростійкість дев'ятнадцяти видів деревних рослин, що зростають у штучних насадженнях – парках і скверах степової зони країни, з використанням методу Ф. П. Мацкова. Дослідження проводили протягом літніх місяців 2024 р. у лабораторних умовах із моделюванням термічних показників від +40 до +75 °С з інтервалом у 5 °С. У липні, порівняно з червнем, жаростійкість листків більшості досліджуваних рослин підвищувалась, а в серпні відносно липневих показників відзначалися різноспрямовані видоспецифічні зміни. У результаті за ступенем прояву реакції листків на дію високих температур було виділено три групи рослин. Суттєву термостійкість продемонстрували *Q. robur*, *L. vulgare*, *U. parvifolia*, *A. campestre*, *A. saccharinum* та *F. excelsior*, найменшу – *T. cordata*, *A. negundo*, *A. hippocastanum*, *P. simonii*. Решта проаналізованих видів займає проміжне положення. Високі температури повітря за тривалої відсутності рідких опадів у липні призвели до появи жовтих і світло-коричневих плям запалу на листках деяких видів деревних рослин (*T. cordata*, *A. platanoides*, *U. parvifolia*). Це явище спостерігається на периферійних гілках південного боку крони, переважно в нижній її частині. Згодом внаслідок збільшення і злиття некротичних ушкоджень такі листки всихають. У польових умовах, на відкритих сонячних місцях, виявлені ушкодження листків тих видів рослин, які в лабораторному експерименті за температур +40...+45 °С не мали фоліарних некрозів (*A. campestre*, *A. saccharinum* і *A. tataricum*). Окремо виділили *R. pseudoacacia*, листки якої гинуть вже за температури +40 °С у всі місяці досліджень, але практично не ушкоджуються в спекотні дні, що можна пояснити високою інтенсивністю їх транспірації. Висока жаростійкість *Q. robur* також пов'язана з його глибоким укоріненням, завдяки чому вода надходить до рослинного організму із водонесних пластів, розташованих нижче по ґрунтового профілю. При конструюванні штучних насаджень варто враховувати не тільки плазматичну клітинну термостійкість, але й морфофізіологічні адаптації рослин до гідротермічного стресу.

Ключові слова: термічна стійкість листків, лабораторний експеримент, штучні насадження степових ландшафтів, спекотна погода.

✉ E-mail: valentinabessonova492@gmail.com

V. P. Bessonova¹✉, S. O. Yakovlieva-Nosar², O. E. Ivanchenko¹

¹Dnipro State Agrarian and Economics University, Dnipro, Ukraine

²Khortytsia National Academy, Zaporizhzhia, Ukraine

HEAT RESISTANCE OF DECIDUOUS WOODY PLANTS IN THE NORTHERN STEPPE OF UKRAINE

The plasmatic heat resistance of nineteen species of woody plants growing in artificial plantations – parks and squares of the steppe zone of the Ukraine – was studied using the method of F. P. Matskov. The study was conducted during the summer months of 2024 in laboratory conditions with modeling of thermal parameters from +40 °C to +75 °C with an interval of 5 °C. In July, compared to June, the heat resistance of the leaves of most of the studied plants increased, and in August, compared to July, multidirectional species-specific changes were observed. As a result, three groups of plants were distinguished according to the degree of manifestation of the leaf reaction to high temperatures. *Q. robur*, *L. vulgare*, *U. parvifolia*, *A. campestre*, *A. saccharinum* and *F. excelsior* demonstrated significant heat resistance, and *T. cordata*, *A. negundo*, *A. hippocastanum*, *P. simonii* showed the lowest. The rest of the analyzed species occupies an intermediate position. High air temperatures with a prolonged absence of liquid precipitation in July led to the appearance of yellow and light brown blight spots on the leaves of some species of woody plants (*T. cordata*, *A. platanoides*, *U. parvifolia*). This phenomenon is observed on the peripheral branches of the southern side of the crown, mainly in its lower part. Subsequently, due to the enlargement and fusion of necrotic lesions, such leaves dry out. In the field, in open sunny places, leaf damage was detected on those plant species that did not have foliar necrosis in the laboratory experiment at temperatures of +40...+45 °C (*A. campestre*, *A. saccharinum* and *A. tataricum*). *R. pseudoacacia* was separately identified, the leaves of which die already at a temperature of +40 °C in all months of the study, but are practically not damaged on hot days, which can be explained by the high intensity of their transpiration. The high heat resistance of *Q. robur* is also associated with its deep rooting, which allows water to enter the plant organism from aquifers located lower in the soil profile. When designing artificial plantations, it is necessary to consider not only plasma cellular heat resistance, but also morphophysiological adaptations of plants to hydrothermal stress.

Key words: thermal stability of leaves, laboratory experiment, artificial plantations of steppe landscapes, hot weather.

Вступ

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Температура і режим опадів – головні кліматичні чинники, що суттєво впливають на життєдіяльність рослинних організмів. Сонячна радіація і гідротермічна теплота – головні температурні стрес-фактори [24, 29]. За останні десятиріччя ця проблема загострюється у зв'язку з глобальним підвищенням температури поверхні Землі, і вже в наш час набула планетарного масштабу [1]. Темпи потепління в Україні такі самі, як і в цілому на планеті, про що свідчать інструментальні дослідження в метеорологічній мережі [3]. Значення температури як чинника, що лімітує життя рослин [25], стає більш суттєвим.

Дніпропетровська область є зоною ризикованого землеробства через несприятливі гідротермічні умови в літні місяці, посушливі і спекотні періоди. Найвища температура була зафіксована в м. Дніпро 8 серпня 2010 р. (+40,9 °C). У липні 2024 р. середньодобова температура була на 7–8 °C вищою за норму. Як у липні, так і серпні денна температура піднімалася до +38 °C (02.07–03.07, 17.07–18.07, 22.08–26.08, 28.08) і тривала по декілька днів.

За спекотної погоди зростає випаровуваність, що призводить до ослаблення рослин. Арборифлора зазнає шкоди, знижується економічна ефективність вирощування рослин [11]. Тяжкість і масштаби основних порушень у лісах, таких як пожежі та спалахи чисельності комах, часто пов'язані не тільки зі стресом від посухи, але й з потеплінням клімату [22, 23, 31]. Очікується, що антропогенні зміни клімату призведуть до посилення частоти і жорсткості посух, підвищення температур. Прогнозується, що в умовах глобальних змін клімату погіршиться стан і продуктивність лісів, проявиться негативний вплив на здатність виконувати екосистемні послуги (поглинання вуглецю, підтримання біорізноманіття, пом'якшення клімату, боротьба з ерозією, захист водозбірних басейнів тощо) [23].

Зростання температур веде до настання більш ранніх дат початку вегетації і цвітіння представників дендрофлори. Це підтверджують лінії тренду спостережень за початком цвітіння протягом чотирнадцяти років для чотирьох видів, і за коротші строки – також для чотирьох видів деревних рослин [11].

Вплив підвищених температур викликає функціональні і структурні пошкодження рослин. Їх виживання визначається перш за все стійкістю до стресу тих органів, які підтримують існування рослин або забезпечують їх репродукцію [20]. Насамперед це стосується фотосинтезуючих органів – асиміляційної поверхні рослинних організмів. Тепловий вплив різної сили і тривалості може викликати сонячні опіки листових пластинок, їх обпадання і затримку росту рослин [21]. За дії високих температур скорочується життєздатна площа листків [9, 20] і фотосинтетична активність [26, 28], порушується робота продихів [16]. Отже, дані стосовно стійкості деревних рослин як природних лісів, так і штучних насаджень до високих температур становлять суттєвий інтерес, і такі дослідження є актуальними.

Аналіз основних наукових досліджень і публікацій. У роботі О. В. Колесніченко зі співавт. [9] проаналізовано ушкодження листків гіркокаштана звичайного (*Aesculus hippocastanum* L.) і каштана їстівного (*Castanea sativa* Mill.) в інтервалі температур від 40 °C до 80 °C з кроком 2 °C. Дослідження виконувалося за модифікованою методикою визначення жаростійкості рослин Ф. П. Мацкова. Установлено, що температура +56 °C викликає початкові пошкодження листків *C. sativa*, а в *A. hippocastanum* – за дії температури на 2 °C меншої (54 °C). Проте загибель листків цієї рослини спостерігалася за температури на 10 °C вищій (80 °C), ніж у *C. sativa*.

Вивчення жаростійкості широко розповсюджених в озелененні декоративних чагарників бирючини звичайної (*Ligustrum vulgare* L.) й бирючини круглолистої (*Ligustrum ovalifolium* 'Aureum') показало, що *L. vulgare* є більш стійкою. Так, якщо у цієї рослини за дії температури +60 °C ушкоджується 80–90 % площі листка, то у *L. ovalifolium* листкова пластинка некротизується повністю. Діапазон вивчаємих температур становив +40...+80 °C з інтервалом 10 °C. На жаль, ступінь пошкодження листків, що наведений у таблиці,

виражений не конкретними цифрами, а умовними позначеннями від одного до трьох плюсів [13]. Здійснено оцінку стійкості до високих температур троянд *Rosa canina* L. і *R. × centifolia*, а також сортів різних груп троянд (чайно-гібридні, мініатюрні, виткі, поліантові). У центифольної та мініатюрних троянд листки повністю гинуть за температур $+55...+60^{\circ}\text{C}$. Такі троянди, як собача, виткі, поліантові, чайно-гібридні та ґрунтопокривні, краще переносять високі температури. Характерно, що в межах кожної групи сорти відрізняються за ступенем ураження листків за дії певних високих температур [12].

Жаростійкість листків колекційних сортів винограду дослідили Ж. Уміров зі співавт. [15]. Виявлені більш стійкі до високих температур в кожній з вивчаємих груп винограду – Східній, Чорноморській, Західноєвропейській. Для зіставлення жаростійкості сортів аналізувалася дія температур $+55^{\circ}\text{C}$ і $+60^{\circ}\text{C}$. Виділені більш толерантні до температурного стресу сорти. Згідно з отриманими результатами дослідники вважають, що кращим строком для визначення жаростійкості є середина серпня, хоча обґрунтування такого положення не наводиться.

О. С. Гаврилюк зі співавт. [4] акцентують увагу на необхідності добирати плодів культури та сорти відповідно до їх екологічних вимог, що є основою їх довговічності і високої продуктивності. Важливішими властивостями плодів культур є висока жаростійкість і посухостійкість. Цими дослідниками виявлені жаро- і посухостійкі гібриди та сорти яблунь колоноподібного типу. Найбільшу стійкість до високих температур мають сорти Фаворит, Спарта та гібриди 11/15, 9/110 Михайлівське, 9/78 Вікторія. Їх листки за температури $+60^{\circ}\text{C}$ (експозиція 10 хв.) набувають ушкодження площею всього 1–5 % (дуже жаростійкі). Високожаростійкими є такі сорти яблуні колоноподібного типу, як Білосніжка й Болеро, а також гібрид Дюймовочка. Рослини як першої, так і другої групи автори рекомендують до вирощування в Лісостепу України.

Проведені також дослідження із визначення стійкості до високих температур листків сільськогосподарських [18] та квітникових рослин [2].

З вищевказаного випливає необхідність вивчення стійкості до високотемпературного стресу органів деревних рослин із ширшим охопленням асортименту аборигенних й інтродукованих видів. Особливо це важливо для степової зони України, де рослини знаходяться в складних гідротермічних умовах у літній період вегетації.

Мета даної роботи – дослідити стійкість до високих температур листків деревних рослин штучних насаджень в степовій зоні в літні місяці вегетаційного періоду.

Предмет дослідження – жаростійкість листків деревних рослин.

Об'єкт дослідження – листяні деревні рослини штучних насаджень у степовій зоні України (м. Дніпро).

Новизна дослідження – вперше проаналізовано жаростійкість листків дев'ятнадцяти видів деревних рослин у діапазоні $+40...+75^{\circ}\text{C}$ і здійснено порівняння її рівня в літні місяці.

Об'єкти та методи дослідження

Як дослідні об'єкти використовували рослини, які зростали на території скверу ім. І. Старова і парку ім. Т. Г. Шевченка, відстань між якими становить 250 м. Як модельні слугували дерева віком 20–30 років із родин *Fagaceae* (дуб звичайний – *Quercus robur* L.), *Juglandaceae* (горіх волоський – *Juglans regia* L.),

Ulmaceae (в'яз приземкуватий – *Ulmus parvifolia* Jacq.), *Salicaceae* (верба біла – *Salix alba* L., тополя чорна – *Populus nigra* L., тополя Сімона – *P. simonii* Carr.), *Tiliaceae* (липа серцелиста – *Tilia cordata* Mill., липа крупнолиста – *T. platyphyllos* Scop.), *Fabaceae* (робінія звичайна – *Robinia pseudoacacia* L.), *Aceraceae* (клен польовий – *Acer campestre* L., клен ясенolistий – *A. negundo* L., клен гостролистий – *A. platanoides* L., клен несправжньо-платановий – *A. pseudoplatanus* L., клен цукристий – *A. saccharinum* L., клен татарський – *A. tataricum* L.), *Hippocastanaceae* (гіркокаштан звичайний – *Aesculus hippocastanum* L.), *Oleaceae* (ясен звичайний – *Fraxinus excelsior* L., бузок звичайний – *Syringa vulgaris* L., бирючина звичайна – *Ligustrum vulgare* L.).

Для аналізу відбирали листки (2-й і 3-й від основи однорічних пагонів) з гілок південно-східного боку крони на висоті 2 м за однакових умов освітлення (12.06.2024, 18.07.2024, 15.08.2024).

Вивчення жаростійкості листків деревних рослин здійснювали методом Ф. П. Мацкова. Принцип методу полягає в тому, що за певної температури відбувається коагуляція білків і мембрани втрачають властивість напівпроникності. Кислота, в яку занурюють листки, легко проникає в клітини, і магній в молекулі хлорофілу замінюється на два атоми водню. Утворюється сполука феофітин бурого кольору.

Вивчення стійкості листків рослин до високих температур проводили в діапазоні +40...+75 °C. Листки занурювали у водяну баню з контролем температури DZKW-D-4 і за температури +40 °C витримували 30 хв. Далі жаростійкість листків аналізували через кожні 5 °C після перебування за даної температури впродовж 10 хв. Таким чином, проби протягом 10 хв піддавалися впливу кожної зі зазначених температур: +45, +50, +55, +60, +65, +70 і +75 °C. Після дії на листки певної температури протягом 10 хв їх порціями переносили у кристалізатор із дистильованою водою кімнатної температури, а потім, промокнувши фільтрувальним папером, – у розчин 0,2 н соляної кислоти на 15 хв. Далі їх промивали водою. Окреслювали на папері контури листка і місця їх ушкодження. Ваговим методом установлювали їх площу, розраховували ступінь ушкодження листків у відсотках.

Результати проведення досліджень та обговорення

У червні високу термочутливість мають листки *P. simonii*, *S. vulgaris*, *T. cordata*, *S. alba*, *A. platanoides* та *A. negundo*, *A. hippocastanum*, площа ушкодження яких вже за температури +40 °C перевищує 20 %. Летальна температура для листків *A. negundo* становить +60 °C, для *A. platanoides* +70 °C, для інших +65 °C (рис. 1).

Невелика площа побуріння тканин за найнижчої із випробуваних нами температур (+40 °C) спостерігалася у листків *T. platyphyllos*, *A. campestre*, *A. saccharinum*, *A. tataricum*, *F. excelsior* – менше 10 %. Проте відсоток фоліарних некрозів у *A. tataricum* стрімко зростає за температури +55 °C, і серед указаних вище видів дерев його листки виявляють за цієї температури найвищу чутливість. Межа життєвості листків *A. tataricum* становить +65 °C, в інших рослин цієї групи – +70 °C.

Найбільша жаростійкість у червні виявлена у листків *Q. robur*. За дії температур +40 і +45 °C їх ушкоджень не виявили. Температура +50 °C викликає побуріння лише 22 % поверхні цих органів. Надалі зі збільшенням температури

площа загиблених тканин зростає. Летальною є температура $+75^{\circ}\text{C}$. Висока фоліарна термостійкість установлена у *L. vulgare* та *U. parvifolia*. За температури $+40^{\circ}\text{C}$ ушкоджень не виявлено, а за $+45^{\circ}\text{C}$ – побуріння тканин становить 6 і 15 % відповідно. Але якщо зі збільшенням температур у *L. vulgare* частка некротизованих тканин зростає поступово, то у *U. parvifolia* за температури $+55^{\circ}\text{C}$ відбувається різке збільшення площі відмерлих тканин зі значним зростанням рівня ушкодження тканин надалі за температур $+60^{\circ}\text{C}$ і $+65^{\circ}\text{C}$. Межа життєвості тканин листків обох видів – $+70^{\circ}\text{C}$ (рис. 1).

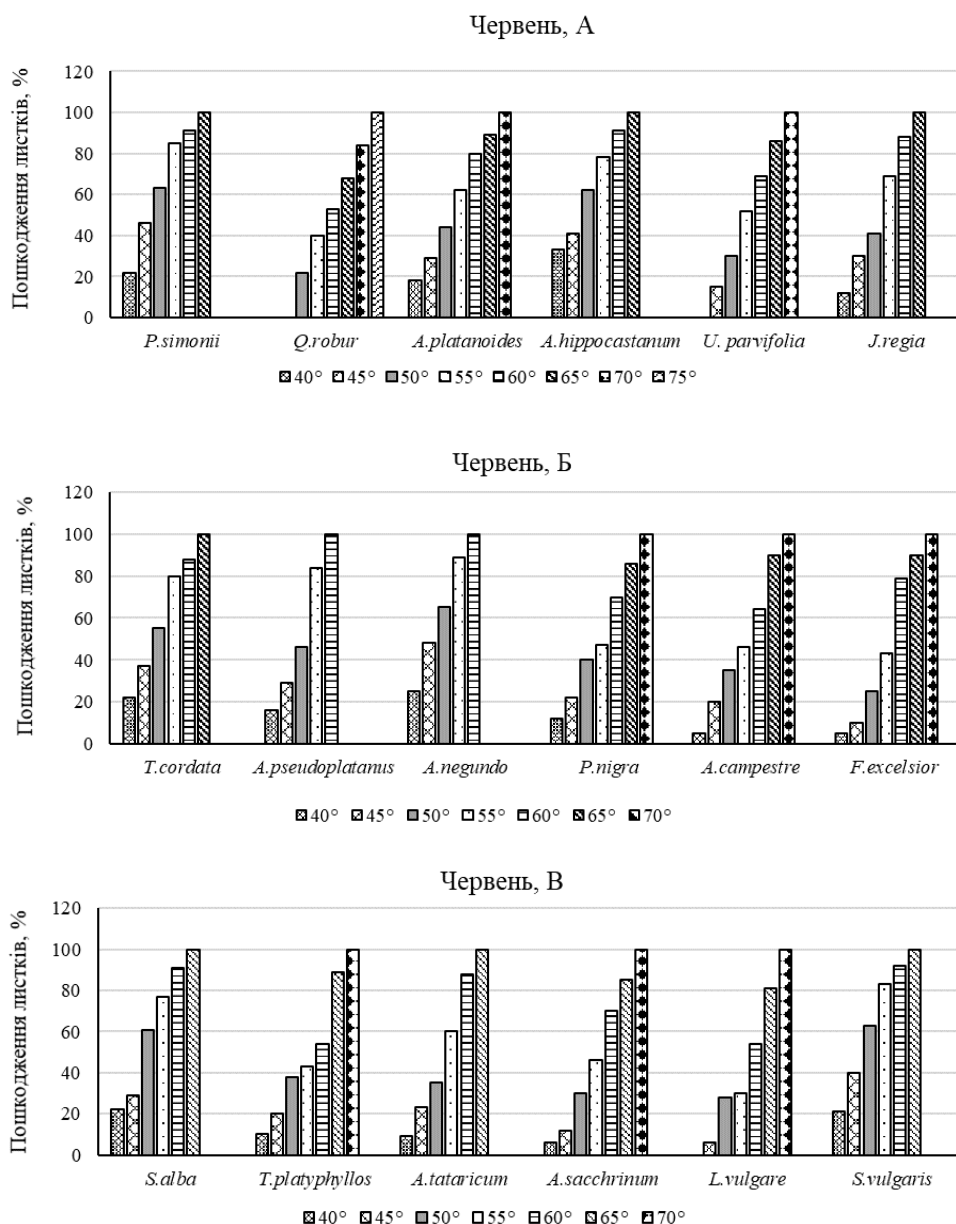


Рис. 1. Попшкоджувальність листків деревних рослин високими температурами в червні, %

У липні за температури $+40^{\circ}\text{C}$ площа побуріння листків *A. platanoides* і *T. platyphyllos* охоплює невелику площу – 5 і 8 % відповідно. Менше 15 % складають некротизовані плями, що виявлені за цієї температури, на листках *S. alba*, *S. vulgaris*, *P. nigra*, *J. regia*, *A. pseudoplatanus*. При її підвищенні на 5°C площу ушкодження меншу за 20 % включно з перелічених вище рослин мали листки *A. platanoides*, *S. alba*, *T. platyphyllos*, *P. nigra*. Летальною температурою для листків рослин цієї групи є $+70^{\circ}\text{C}$, а для *S. alba* і *J. regia* – $+65^{\circ}\text{C}$ (рис. 2).

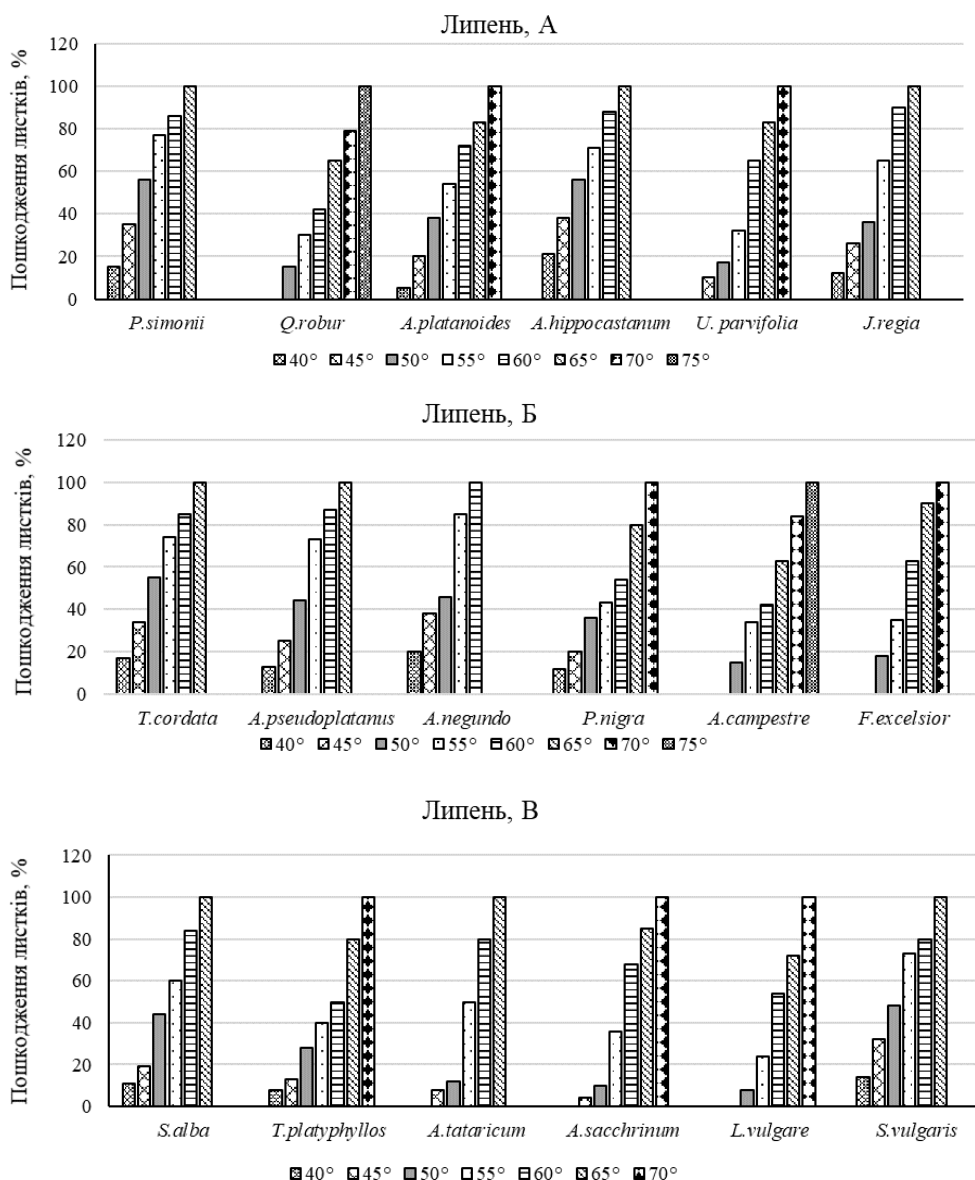


Рис. 2. Пошкоджуваність листків деревних рослин високими температурами в липні, %

Високими показниками фоліарної стійкості за температури +40 °C характеризуються такі рослини, як *Q. robur*, *L. vulgare*, *U. parvifolia*, *F. excelsior*, *A. campestre*, *A. tataricum*, *A. saccharinum*. Теплові ушкодження у зазначених видів практично відсутні. Проте за температури +45 °C невелика площа листків некротизується у *A. tataricum* і *A. saccharinum*, *U. parvifolia*, залишаючись неушкодженими в інших рослин даної групи. Листки *A. tataricum*, які мало вражаються до температури +50 °C включно, сильно буріють за температури +55 °C (50 %), в той час як у інших рослин, віднесених до даної групи, гине менше 40 % їх площі. За даної температури (+55 °C) рівень термічного ураження листових пластинок є найменшим у *Q. robur* і *L. vulgare* – 30 і 24 %. Найбільш високою температурою, що витримують ці органи у *Q. robur* і *A. campestre*, є +75 °C, *A. saccharinum*, *F. excelsior*, *L. vulgare*, *U. parvifolia* – +70 °C. Листки *A. tataricum* хоч і характеризуються високою стійкістю до позначки +50 °C, але гинуть за температури +65 °C.

Найбільший відсоток тканин листків за температури +40 °C ушкоджується у *T. cordata*, *A. negundo*, *P. simonii*, *A. hippocastanum*. Ця закономірність зберігається і за температури +45 °C. Летальною межею для листків *A. negundo* є +60 °C, для решти видів цієї групи +65 °C.

У серпні до групи найбільш жаростійких рослин віднесені ті самі види рослин, що й у попередні строки дослідження. За температури +40 °C не ушкоджуються листки *Q. robur*, *L. vulgare*, *U. parvifolia*, *A. campestre*, *A. tataricum* і *A. saccharinum*, *F. excelsior*. З підняттям температури на 5 °C на них у *Q. robur* відсутні бурі плями. В інших вищевказаних рослин площа теплового ураження є невеликою, її величина коливається від 3 % у *F. excelsior* до 20 % у *U. parvifolia*. Надалі ступінь некротизації листків цієї групи рослин із підняттям температури зростає різними темпами. Так, за температури +55 °C найбільша площа їх ураження виявлена у *A. tataricum*, *U. parvifolia*, *A. saccharinum*, а найменша – у *Q. robur* і *L. vulgare*. Летальна температура для листових пластинок *Q. robur* у цьому місяці становить +75 °C, *A. tataricum* і *U. parvifolia* + 65 °C, для інших рослин – (+70 °C).

Найменшу стійкість до температурного чинника в серпні визначили у листків *P. simonii*, *A. negundo*, *T. cordata*, *S. alba*, *A. platanoides*. Термічне ушкодження їх наближається до 20 % або дещо більше за дії на них температури +40 °C протягом 30 хв. Температура +45 °C збільшує площу побуріння, яка перевищує 30 %. Межа загибелі листків *A. negundo* становить +60 °C, *P. simonii* і *T. cordata* +65 °C, для *S. alba* і *A. platanoides* ця температура сягає +70 °C. Найнижчою жаростійкістю була у листків *A. hippocastanum*. У цей період їх переважна більшість відмирає через ушкодження каштановою міллю, тому для досліду відбирали гілки, на яких листові пластинки були без жодних плям. Їх дуже низька термостійкість, можливо, пов'язана зі зниженням загальної життєвості дерев цього виду. За температури +50 °C некротизується 80 %, +55 °C – 95 %, +60 °C – 100 % площі листка (рис. 3).

Середній ступінь термоураження спостерігається у *S. vulgaris*, *J. regia*, *T. platyphyllos*, *P. nigra*, *A. pseudoplatanus*. Ступінь їх побуріння за температури +40 °C коливається від 4 % у *P. nigra* до 10 % у *S. vulgaris* і *J. regia*. За температури +50 °C частка ушкодженої площі збільшується до 32–38 % залежно від виду рослини. Температура, за якої спостерігається повна загибель листків

цієї групи – *P. nigra* і *T. platyphyllos*, – становила +70 °C, для *S. vulgaris*, *J. regia* і *A. pseudoplatanus* – (+ 65 °C).

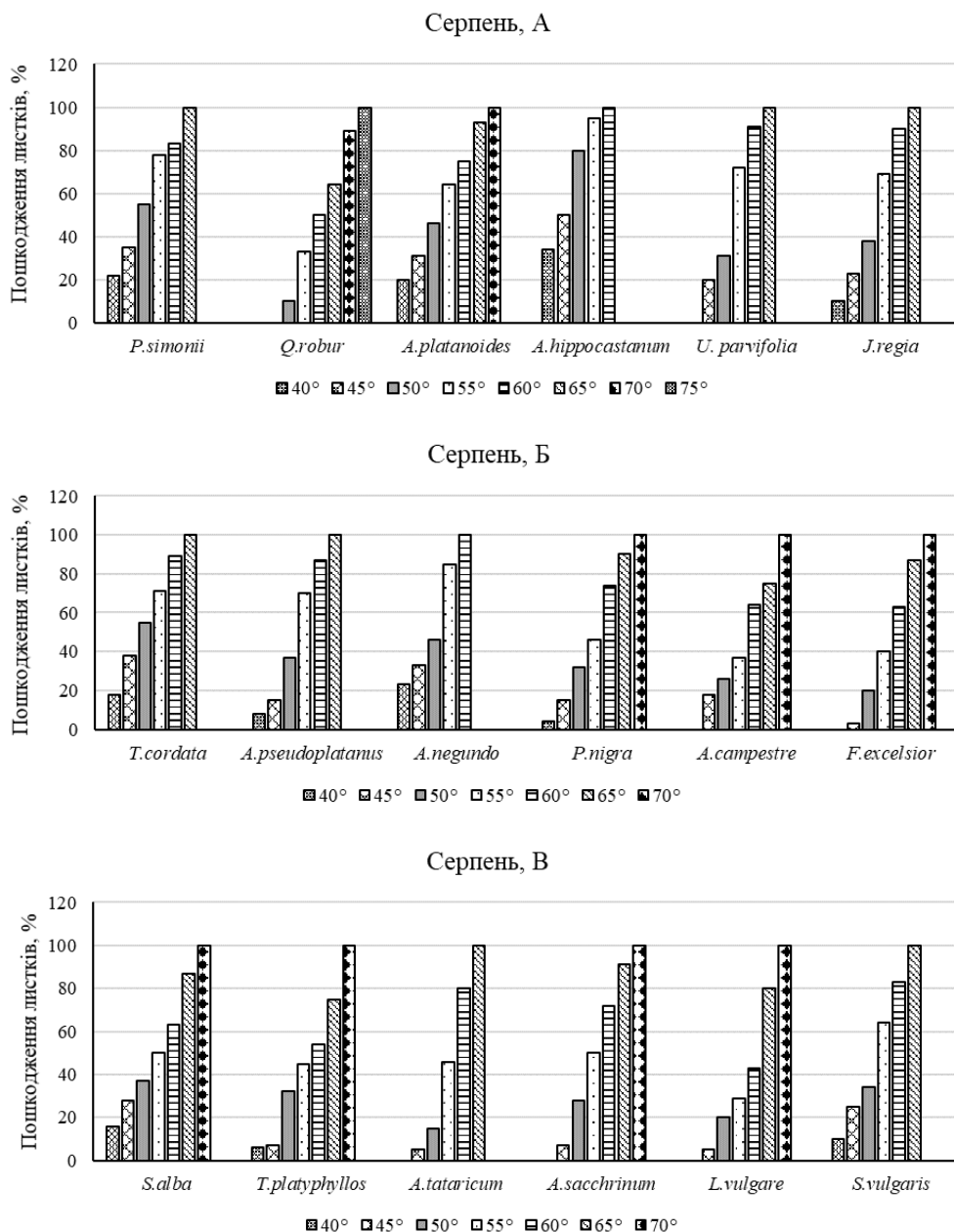


Рис. 3. Пошкоджуваність листків деревних рослин високими температурами в серпні, %

Слід виділити таку рослину, як *Robinia pseudoacacia*, листки якої гинуть уже за температури +40 °C у всі місяці досліджень. Подібні результати зі жаростійкості листків *R. pseudoacacia* отримали Т. В. Nerushaeva, N. V. German

[27], за даними яких уже +40 °C є летальною температурою для її листків, хоча деякі інші автори вказують на більш високу стійкість.

Порівняння жаростійкості листків деревних рослин у різні літні місяці свідчить, що її ступінь за дії температурного ряду в основному збігається. Найбільшу стійкість проявляють листки *Q. robur*, *A. campestre*, *L. vulgare*, а найменшу – *A. negundo*, *A. hippocastanum*, *P. simonii*, *T. cordata*. Це саме стосується і середньостійких видів, хоча діапазон некротизації для одних і тих самих видів деревних рослин відрізняється у різні строки досліджень.

У липні зменшується, порівняно з червнем, площа ушкоджених тканин (за винятком сублетальних і летальних температур) на листових пластинках більшості досліджуваних видів рослин (*P. simonii*, *Q. robur*, *A. tataricum*, *S. vulgaris*, *U. parvifolia*, *L. vulgare*, *T. platyphyllos*, *A. campestre* і *A. saccharinum*, *F. excelsior*), які належать до різних груп стійкості. У листків тестованих об'єктів відміни в жаростійкості у червні і липні визначені за дії не всіх досліджуваних температур, а тільки за деяких з них.

У серпні, порівняно з липнем, реакція листків деревних рослин на термострес сильно не змінюється у *P. simonii*, *T. platyphyllos*, *A. campestre*, *F. excelsior*. У таких видів рослин, як *A. platanoides*, *U. parvifolia*, *A. campestre* і *A. hippocastanum*, площа побуріння листових пластинок за дії вивчаємих температур збільшується. Термостійкість їх, навпаки, зростає у *S. vulgaris*, *A. pseudoplatanus*, а також *S. alba* (за винятком +40 і +45 °C). Тенденцію змін жаростійкості у *P. nigra* та *L. vulgare* у серпні відносно попереднього місяця важко визначити.

Отже, однозначної спрямованості змін жаростійкості у досліджуваних об'єктів у процесі онтогенезу листків не виявили. Проте слід відзначити, що в липні цей показник у більшості видів рослин зростає відносно червневих значень, а в серпні порівняно з липнем в одних досліджуваних видів деревних рослин цей показник майже не змінюється, у інших – підвищується або зменшується.

Зіставлення жаростійкості за нашими даними і результатами О. Strashok [30] показало, що нами отримані однакові значення щодо летальної температури для листків *L. vulgare* (+70 °C). В. М. Новосад [13] установила, що загибель листків *L. vulgare* також відбувалася за температури +70 °C. Проте для *Q. robur* у наших дослідках вона вище (+75 °C), а для *T. cordata* в усі літні місяці становила +65 °C, тоді як за показниками О. Strashok [30] – (+90 °C).

У дослідженнях О. В. Колесніченко зі співавт. [9] летальною температурою для листків *A. hippocastanum* була +80 °C, в той час як у наших – (+65 °C). Такі розходження, можливо, пов'язані з різним віковим станом рослин. О. В. Колесніченко зі співавт. [9] вивчали жаростійкість саджанців, а об'єктами наших досліджень були генеративні (20–30-річні) рослини. Крім того, рослини *A. hippocastanum* у насадженнях парку щорічно уражалися каштановою мінуючою міллю. У зв'язку з цим може знижуватися резистентність і до інших несприятливих чинників. На невисоку протоплазматичну стійкість клітин у сіянців *T. cordata* і *A. hippocastanum* вказує В. П. Тарабрін [14], який визначав її після перебування надземної частини у водяній бані мікротермостата. За температурний поріг загибелі листків приймалося повне їх усихання через певну кількість днів.

Як уже вказувалося, у липні і серпні в окремі дні температура повітря становила $+38^{\circ}\text{C}$ у затінку, а на сонці стовпчик термометра піднімався до $+55^{\circ}\text{C}$. Це призвело до ушкодження деяких листків ряду видів деревних рослин на південному боці крони, найчастіше – у нижній її частині, на добре освітлених, розташованих по периферії крони гілках, насамперед на кінцях дрібних гілочок. Ушкодження проявляються в появі жовтих і світло-коричневих або коричневих плям (запал), які потім збільшуються в розмірах, і такі листки засихають (*A. negundo*, *A. saccharinum*, *P. simonii* та ін.) (рис. 4). У *T. cordata* і *A. platanoides* спочатку з'являється крайовий некроз, який згодом розповсюджується на інші частини пластинки листка. Листки *T. platyphyllos* облямовує вузька смуга крайового некрозу. Частка ушкоджених листків менша, ніж у дерев *T. cordata* і *A. platanoides*.

*A. negundo**A. saccharinum**A. platanoides**T. cordata*

Рис. 4. Запал на листках деревних рослин у штучних насадженнях (липень)

Сонячних опіків не спостерігали на листках *Q. robur*, *R. pseudoacacia*, *S. vulgaris*, *L. vulgare*, практично не зустрічали їх на листових пластинках *U. parvifolia*, *P. nigra*, *J. regia*, *A. pseudoplatanus*.

Слід зазначити, що збігу прояву реакції листків досліджуваних видів рослин на дію високих температур за результатами лабораторних дослідів та польових спостережень не виявили, крім *Q. robur* і *L. vulgare*. Дуже

малотермостійкі листки *R. pseudoacacia*, які є надзвичайно чутливими до високих температур у лабораторному експерименті, не ушкоджуються у спекотні дні в польових умовах зростання, що можна пояснити високою інтенсивністю їх транспірації. Вона викликає охолодження поверхні листових пластинок за рахунок нагнітання води кореневою системою, яка у цієї породи досягає 5 м завглибшки [6]. Потужні стрижневі корені має *J. regia*, глибина проникнення яких у ґрунт вже в 12-річному віці сягає близько 3 м. Відгалуження від бічного кореня цієї рослини розташовані рівномірно по всій його довжині, також розвинені вертикальні розгалуження [7]. У *P. nigra* коренева система частково глибока, частково – поверхнева, пластична [17], глибоко в ґрунт проникають його якірні корені. Стрижнева коренева система характерна для *A. pseudoplatanus*. Так, навіть у 12-річному віці вона може дещо перевищувати 5 м, горизонтальні корені добре розвинені [7]. Могутню глибоку кореневу систему розвиває *U. parvifolia*. Завдяки глибоким кореням здійснюється постачання води з горизонтів ґрунту, що зберегли вологу, внаслідок чого рослини можуть нормально транспірувати, охолоджуючи асиміляційну поверхню крони. Рослини *Q. robur* поряд із високою протоплазматичною жаростійкістю мають дуже глибоку кореневу систему (до 6 м завглибшки) [7], а за деякими даними – і глибше [5]. Як зазначають В. П. Шлапак зі співавт. [19], за характером будови та розміщення в ґрунті коренева система *Q. robur* суттєво відрізняється від таких супутніх порід, як *A. platanoides* і *F. excelsior*, основна частина коренів яких розміщується у верхньому шарі ґрунту до глибини 30–40 см.

Висока жаростійкість у польових умовах виявлена, як зазначалося вище, у *L. vulgare* і середня – для *S. vulgaris*, яким притаманна поверхнева, хоча й добре розвинена, коренева система.

Рослини неглибокого вкорінення можуть компенсувати недостатнє охолодження листків у процесі транспірації більш високою жаростійкістю їх тканин. Протидія супероптимальним температурам може бути пов'язана з адаптивними біохімічними процесами, які відбуваються в органах (листках) нативних рослин, що виключено в експерименті *in vitro*. Ще В. П. Тарабрін [14] вказував на важливу роль кореневої системи, яка крім забезпечення рослин водою впливає на характер біосинтетичних функцій.

Отже, разом із показниками жаростійкості, визначеної лабораторним методом, доцільно розглядати для більш об'єктивної картини здатність рослин до активної транспірації завдяки постачанню води добре розвиненою глибокою кореневою системою.

При порівнянні жаростійкості листків деревних рослин суттєве значення має її оцінка за температур +40...+45 °С, до яких може прогріватися повітря із сонячного боку крони, і це призводить до їх ушкодження. Установлено, що навіть часткова некротизація листових пластинок скорочує площу асиміляції, порушує фізіологічні процеси. Високий ступінь жаростійкості листків рослин за умов спекотної погоди забезпечує більш ефективне функціонування фотосинтетичного апарату, а це обумовлює високу продуктивність дерев [8, 10].

Висновки

1. За характером реакції листків деревних рослин на дію високих температур (метод Ф. П. Мацкова) виділили три групи. До найбільш стійких віднесені *Q. robur*, *L. vulgare*, *U. parvifolia*, *A. campestre* і *A. saccharinum*,

F. excelsior. Середню жаростійкість проявляють листки *S. vulgaris*, *J. regia*, *T. platyphyllos*. Найменша термостійкість листків виявлена у *T. cordata*, *A. negundo*, *A. hippocastanum*, *P. simonii*.

2. Установлено, що в липні у більшості досліджуваних деревних рослин плазматична жаростійкість листків є вищою, ніж у червні. У серпні, порівняно з липнем, спостерігаються різноспрямовані зміни ступеня ушкодження листків залежно від видової приналежності рослин. В одних із них вона збільшується, в інших – зменшується або залишається на тому самому рівні.

3. У липні спекотна погода (+38 °С у затінку протягом декількох діб) викликала у низки видів деревних рослин ушкодження деяких груп листків переважно на кінцях гілок, які значно виступають із крони дерева. Термопошкоджень не спостерігали на листках *Q. robur*, *R. pseudoacacia*, *S. vulgaris*, *L. vulgare*, поодинокі опіки виявлені на листках *U. parvifolia*, *P. nigra*, *J. regia*, *A. pseudoplatanus*.

4. Реакція листків на дію високих температур за природних умов залежить не тільки від плазматичної стійкості їх тканин, але й здатності охолоджувати поверхню цих органів у процесі транспірації, постачання води для якої залежить від глибини кореневої системи. Це має особливе значення в складних гідротермічних умовах.

При створенні рекомендацій із озеленення відкритих ландшафтів Степу України необхідно враховувати не тільки клітинну термостійкість, але й морфологічні адаптації рослин до гідротермічного стресу.

Бібліографічні посилання

1. **Басок Б., Базєєв Є.** Глобальне потепління: проблеми, дискусії та прогнози. Світогляд. 2020. № 6(86). С. 4–15.
2. **Бессонова В. П., Іванченко О. Є., Сисоєва О. В.** Оцінка стійкості та декоративності квіткових рослин у контейнерній культурі промислового міста. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія Лісівництво та декоративне садівництво. 2011. Вип. 164, ч. 3. С. 280–285.
3. **Бойченко С.** Сучасні глобальні зміни та прояви їх на території України. Світогляд. 2008. № 1. С. 15–25.
4. **Гаврилюк О. С., Євдокимов Д. С., Король І. С., Кушим А. В., Майборода Д. С., Олійник Б. І.** Посухо- та жаростійкість сортів та гібридів яблуні колонопоподібного типу. Наукові доповіді НУБіП України. 2023. № 1/107.
5. **Гузь М. М., Озарків І. М., Кульчицький-Жигайло І. Є., Озарків О. І., Данчівська О. Я.** Особливості будови кореневої системи дуба звичайного та закономірності перенесення вологи у дереві. Науковий вісник НЛТУ України. 2009. Вип. 19.4. С. 7–16.
6. **Заячук В. Я.** Дендрологія. Львів: Сполом, 2014. 676 с.
7. **Калінін М. І., Гузь М. М., Дебринюк Ю. М.** Лісове коренезнавство. Львів: УкрДЛТУ, 1998. 336 с.
8. **Китаєв С. М., Чиж О. Д.** Вивчення елементів посухостійкості клонових підщеп та сорто-підщепних комбінувань яблуні. Садівництво. 2007. Вип. 60. С. 227–238.
9. **Колесніченко О. В., Григорюк І. П., Грисюк С. М., Климчук Д. О.** Оцінка жаро- і посухостійкості саджанців рослин каштана їстівного (*Castanea*

sativa Mill.) та гіркокаштана звичайного (*Aesculus hippocastanum* L.). Наукові доповіді НУБіП. 2010. № 2(18). С. 1–11.

10. **Макарова Д. Г.** Адаптивність і продуктивність сорто-підщепних комбінацій яблуні в умовах Правобережної підзони Західного Лісостепу України: дис. канд. с.-г. наук за спеціальністю 06.01.07 – плодівництво. Київ, 2011. 196 с.

11. **Межсинський В. М.** Кліматичні зміни та їх вплив на деревні рослини на південному сході України. Промышленная ботаника. 2009. Вип. 9. С. 56–59.

12. **Мельник М. А., Дубова О. В., Лях В. О.** Жаростійкість різних груп і сортів троянд. Інтродукція рослин. 2014. № 1. С. 84–86.

13. **Новосад В. М.** Жаростійкість і водоутримувальна здатність *Ligustrum vulgare* L. та *Ligustrum ovalifolium* 'Aureum'. Науковий вісник НЛТУ України. 2014. Вип. 24.9. С. 80–84.

14. **Тарабрин В. П.** Жароустойчивость древесных растений и методы ее определения в полевых условиях. Бюллетень ГБС. 1969. Вип. 74. С. 53–56.

15. **Умиров Ж., Аликулова А., Юсупова Ф., Мирзаева М.** Жаростойкость коллекционных сортов винограда. «Iqlimning davom etayotgan o'zgarishi sharoitida sharoitida oziq-ovqat xavfsizligiga erishish uchun agrobiologik xilmaxillikni o'rganish, saqlash va barqaror foydalanish muammolari» mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya. 28-sentabr 2023-yil. С. 587–589.

16. **Франко О. Л., Мело Ф. Р.** Осмопротекторы: ответ растений на осмотический стресс. Физиология растений. 2000. Т. 47, № 1. С. 152–159.

17. **Фучило Я. Д., Літвін В. М., Сбитна М. В.** Біологічні, екологічні та технологічні аспекти плантаційного вирощування тополі в умовах Київського Полісся. Київ: Логос, 2012. 214 с.

18. **Цицюра Я. Г.** [Оцінка жаростійкості редьки олійної лабораторними методами. Сільське господарство та лісництво. 2020. № 18. С.42–58.](#)

19. **Шлапак В. П., Адаменко С. А., Козаченко І. В., Савченко О. М.** [Особливості розвитку кореневих систем дуба та ясена звичайного в умовах Північного Степу України. Науковий вісник НЛТУ України. 2023. Т. 33, № 5. С. 7–13.](#)

20. **Шматько И. Г., Григорюк И. А., Шведова О. Е.** Устойчивость растений к водному и температурному стрессам. Киев: Наукова думка, 1989. 224 с.

21. **Barber H. N., Sharpe P. J. H.** [Genetics and physiology of sunscald of fruit. Agricultural Meteorology. 1971. Vol. 8. P. 175–191.](#)

22. **Carnicer J., Coll M., Ninyerola M., Penuelas J.** [Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2011.108\(4\). P. 1474–1478.](#)

23. **Grant G. E., Tague Ch. L., Allen C. D.** [Watering the forest for the trees: an emerging priority for managing water in forest landscapes. Frontiers in Ecology and the Environment. 2013.](#)

24. **Kappen L.** Ecological significance of resistance physiology. Berlin ets.: Springer. 1981. Vol. 12. P. 439–474.

25. **Larcher W.** Limiting temperatures for life function. Temperature and leaf. Berlin ets.: Springer, 1973. P. 195–292.

26. [Moore C., Meacham K., Lemonnier P., Slattery R., Benjamin C., Bernacchi C., Lawson T., Cavanagh A.](#) The effect of increasing temperature on crop photosynthesis: From enzymes to ecosystems. *Journal of Experimental Botany*. 2021. 72(8). P. 1–54.
27. [Nerushaeva T. B., German N. V.](#) The influence of anthropogenic load on heat resistance and condition of tree plantations in the Central and Kirovsky districts of Volgograd. *Samara Journal of Science*. 2023. Vol. 12(1). P. 101–104.
28. [Noreen Zahra, Muhammad Bilal Hafeez, Abdul Ghaffar, Abida Kausar, Maryam Al Zeidi, Kadambot H.M. Siddique, Muhammad Farooq.](#) Plant photosynthesis under heat stress: Effects and management. *Environmental and Experimental Botany*. 2023. Vol. 206.
29. [Palencia P., Martinez F., Medina-M'inquez J., Lopez Medina J.](#) Strawberry yield efficiency and its correlation with temperature and solar radiation. *Horticultura Brasileira*. 2013. 31. P. 93–99.
30. [Strashok O.](#) Comparative analysis of heat resistance of ornamental urban plants in Kyiv. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. 23(3). P. 145–153.
31. [Williams A. P., Allen C. D., Macalady A. K., Griffin D., Woodhouse C. A., Meko D. M., Swetnam T. W., Rauscher S. A., Seager R., Grissino-Mayer H. D., Dean J. S., Cook E. R., Gangodagamage Ch., Cai M., McDowell N. G.](#) Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality. *Nat Climate Change* 3. 2013. P. 292–297.

Надійшла до редколегії 29.09.2024 р.