

СЕЛЕКЦІЯ, ДЕНДРОЛОГІЯ

УДК 630.232.13 6 : 674.031.623.23

<https://doi.org/10.33220/1026-3365.142.2023.47>**Н. Ю. ВИСОЦЬКА^{1,2}****ПОСУХОСТІЙКІСТЬ ДЕСЯТИ КЛОНІВ ТОПОЛІ НА СХОДІ УКРАЇНИ**¹Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького²Естонський університет природничих наук

Інтерпретація реакції клонів тополь на дію дефіциту вологи дає можливість визначити найкращі гібридні комбінації для виявлення генотипів із високою стійкістю до посухи. Оцінено посухостійкість десяти клонів тополь у віці 7 років, які ростуть у сортовипробних культурах на сході України. Дослідження проведено в лабораторних умовах шляхом оцінювання вмісту води в тканинах листя, водного дефіциту, здатності листків утримувати воду та електропровідності. Клони 'Перспективна' (*P. × euroamericana* cv. 'regenerata' × *P. lasiocarpa*), 'Львівська' (*P. × euramericana* cv. 'regenerata' × *P. trichocarpa*), 'Ноктюрн' (*P. trichocarpa* × *P. lasiocarpa*) виявилися стійкими до посухи. Клони 'Dorskamp' (*P. × euramericana* var. Dorskamp) і 'Дружба' (*P. trichocarpa* × *P. laurifolia*) були найменш посухостійкими. Гіпотезу про вищу посухостійкість клонів тополь, які культивують на сході України з 1960-х років, не підтверджено. Не виявлено залежності посухостійкості від гібридних комбінацій батьківських форм.

Ключові слова: *Populus* ssp., листя, оводненість, водний дефіцит, водоутримувальна здатність.

Вступ. Глобальна зміна клімату супроводжується дефіцитом вологи, спричиненим збільшенням температури повітря, інтенсивністю випаровування та частими й тривалими посушливими періодами (Shvidenko et al. 2018). Дефіцит вологи як критичний екологічний чинник є основним обмеженням росту й продуктивності дерев у всьому світі (Vascelar et al. 2012). Прогнозується, що абіотичний стрес набуватиме суттєвішого впливу, створюючи нові виклики для екосистем і сільськогосподарської діяльності (IPCC 2022). Це може призвести як до зменшення приросту, так і до збільшення площі всихання насаджень деревних видів із низькою посухостійкістю.

Доступність води має вирішальне значення для поширення рослин у природних екосистемах і розвитку у контрольованому середовищі. Інтенсивність росту й розвитку деревних рослин безпосередньо залежить від запасів води в ґрунті. Так, дефіцит води спричиняє пригнічення фізіолого-біохімічних процесів, зменшення тривалості вегетаційного періоду та зниження ступеня стійкості рослин до дії стресових чинників. Посуха викликає осмотичний стрес, змінюючи концентрацію розчиненої речовини, що призводить до пошкодження клітин і зниження тиску тургору. Закриття продихів – типова реакція на посуху, що перешкоджає поглинанню та асиміляції CO₂, порушуючи баланс вуглецю та виснажуючи запаси вуглеводів. Це також пригнічує транспірацію, що обмежує процес охолодження листя через випаровування та порушує метаболічні процеси, зокрема фотосинтез, унаслідок теплового стресу. Стрес від посухи зазвичай викликає накопичення активних форм кисню (АФК), які ще більше пошкоджують білки та мембрани. Крім того, за зниження водного потенціалу ґрунту зростає ризик для транспортної системи ксилеми, збільшується ймовірність утворення кавітації та емболії, що зрештою призводить до порушення гідравлічної системи (Seleiman et al. 2021, Rosso et al. 2023). Загибель дерев найчастіше відбувається під спільним впливом дефіциту вологи та високої температури, ймовірно, через ефект збільшення градієнта випаровування та пористості листя за високих температур (Allen et al. 2015, Greenwood et al. 2017, Brodribb et al. 2020).

Представники роду *Populus* L. є одними з найбільш поширених швидкозростаючих видів дерев, які відзначаються високою продуктивністю та екологічною пластичністю (Tkach 1999, Kutsokon et al. 2018, Niemczyk et al. 2019, Schiberna et al. 2021, Fürtner et al. 2022). У різних країнах світу тополі успішно використовують у програмах боротьби з опустелюванням, які спрямовані на відновлення рослинності на деградованих і посушливих землях, а також на зменшення поширення пустель (Marron et al. 2014). Протягом останніх десятиліть

виращування тополь набуло більшого значення через їхні важливі екосистемні послуги, такі як поліпшення умов навколишнього середовища, фітореMediaція, запобігання пиловим бурям та ерозії ґрунтів, секвестрація вуглецю, виробництво біомаси, реабілітація деградованих земель і стабілізація рухомих пісків, а також поліпшення якості життя місцевого населення (Isebrands et al. 2014, Zalesny et al. 2019). Популярність швидкорослих клонів тополь також зумовлена їхнім позитивним впливом на вміст органічного вуглецю в ґрунті, що є особливо важливим в умовах зміни клімату, коли секвестрація вуглецю через виробництво біомаси є привабливою стратегією зниження концентрації CO₂ в атмосфері (Chavan et al. 2023).

Відомо, що тополі є одними з найчутливіших до абіотичних стресів деревних рослин. Висока швидкість росту тополь зумовлює високу потребу у воді, що робить їх уразливими до дефіциту вологи (Rood et al. 2003, Monclus et al. 2006). Повідомляють (FAO 2016, Ji et al. 2020), що посуха призводить до уповільнення росту й загибелі тополь у багатьох регіонах світу. Водночас результати досліджень свідчать про значну генотипову варіабельність толерантності тополь до дефіциту вологи та моделей реакції на дефіцит води (Pallardy & Kozlowski 1981, Liu & Dickmann 1996, Marron et al. 2014, Rosso et al. 2023).

В Україні посилюється інтерес до вирощування тополь на деградованих і малопродуктивних ґрунтах, які окрім низького рівня вмісту поживних речовин характеризуються дефіцитом вологи (Mazur et al. 2019). На сході та півдні України види й гібриди *Populus* є особливо перспективними для створення насаджень різного цільового призначення, зокрема на деградованих внаслідок військових дій землях.

Гібридизація тополі є цінним інструментом для досягнення бажаних ознак, зокрема збільшення біомаси й покращення якості деревини (Harfouche et al. 2014, Hu & Thomas 2019). В Україні під час широкомасштабного експерименту наприкінці 1950-х років одержано понад 600 клонів тополі, які зберігаються у спеціальних розсадниках і колекціях (Starova 1980, Fuchylo et al. 2016, Odarchenko & Maurer 2016, Vysotska 2017). Клони *Populus deltoides* Marsch., *P. × euramericana* (Dode) Guinier, *P. trichocarpa* Torr. & A.Gray ex Hook, *P. laurifolia* Ledeb., *P. lasiocarpa* Oliv. обрані як перспективний матеріал для лісовідновлення та лісорозведення в Україні (Krupei 1970, Kots 1972, Patlay & Rudenko 1990, Fuchylo et al. 2016, Odarchenko & Maurer 2016, Kutsokon et al. 2018).

Найінформативнішими підходами оцінювання посухостійкості рослин є методи дослідження водного режиму листків: оводненості тканин (загального вмісту води), водного дефіциту, водоутримувальної здатності листків та електропровідності (Kushnyrenko 1975, Торор 2003, Кутаєв et al. 2009, Zaitseva 2010, Kryvoshapka 2012). Виявлення механізмів посухостійкості різних видів і гібридів тополі є важливим для розроблення стратегій збереження та відновлення насаджень різного цільового призначення. Оцінювання посухостійкості клонів тополь на сході України допоможе обрати перспективні клони для вирощування в умовах дефіциту вологи й удосконалити їхні характеристики для досягнення високої продуктивності та стійкості в посушливих умовах.

Метою нашого дослідження було визначити відносну посухостійкість десяти клонів тополі на Сході України. Ми припустили, що 1) посухостійкість клонів тополь залежить від гібридних комбінацій батьківських форм; 2) клони дерев, культивовані в Україні з 1960-х років, є потенційно стійкішими до посухи, оскільки пройшли тривалу адаптацію до певних умов існування.

Матеріали й методи. Сортовипробні культури *Populus* spp. створено у 2014 р. на території ДП «Харківська лісова науково-дослідна станція» Харківської області (50°05'01" північної широти, 36°18'23" західної довготи, висота над рівнем моря – 156 м). Відповідно до інформації, отриманої з веб-платформи ClimateCharts.net (Zepner et al. 2020), середньорічна температура повітря в районі досліджень за період 1981–2000 рр. становила +7,7°C, середньорічна сума опадів – 528,8 мм; за період 2001–2020 рр. середньорічна температура повітря становила +8,8°C, середньорічна сума опадів – 535,2 мм. На клімадіграмі кожним 10°C на осі температури відповідають 20 мм на осі кількості опадів. Порівняння кліматичних

даних, отриманих за 1981–2000 рр. та 2001–2020 рр., свідчить про зростання середньорічної температури повітря на 1,1°C та середньорічної кількості опадів на 6,4 мм. Водночас за останні 20 років відбулося збільшення тривалості посушливого періоду в серпні через збільшення середньомісячної температури повітря на 1,6°C та зменшення кількості опадів на 6,6 мм (рис. 1). За класифікацією Кеппена клімат є помірним континентальним (Dfb).

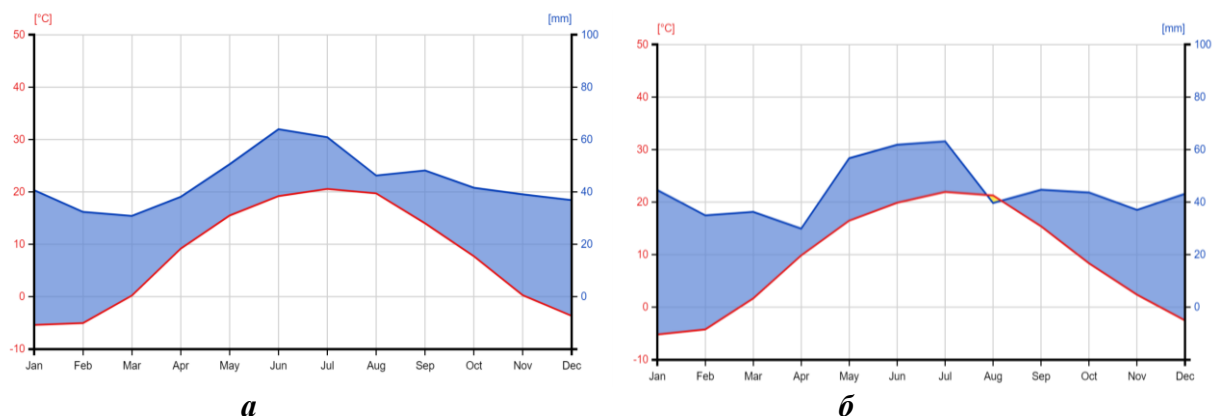


Рис. 1 – Клімадіаграма Вальтера-Літа, на якій візуалізовано середньомісячні температури (°C) і середньомісячні суми опадів (мм) за багаторічними даними спостережень: а – за період 1981–2000 рр.; б – за період 2001–2020 рр. (Якщо температурна крива знаходиться вище від кривої опадів – переважають посушливі або напівпосушливі умови. Якщо крива опадів знаходиться вище кривої температури – переважають вологі умови)

На ділянці випробовують 50 клонів тополь, які репрезентовані видами й гібридами української та іноземної селекції. Для оцінювання посухостійкості нами відібрано 10 клонів: *Aigeiros*: 'Гулівер' (природний гібрид *P. deltoides*); *Tacamahaca*: 'Дружба' (*P. trichocarpa* × *P. laurifolia*), 'Львівська' (*P. euramericana* cv. 'regenerata' × *P. trichocarpa*), 'Роганська' (*P. simonii* f. *fastigiata*), 'Стрілоподібна' (*P.* × *euramericana* × *P. pyramidalis*), 'Dorskamp' (*P.* × *euramericana* var. *Dorskamp*), 'Ghoy' (*P.* × *euramericana* var. *Ghoy*); *Aigeiros* та *Tacamahaca*: 'Новоберлінська' (*P. pyramidalis* × *P. laurifolia*); *Tacamahaca* та *Leucoides*: 'Ноктюрн' (*P. trichocarpa* × *P. lasiocarpa*), 'Перспективна' (*P.* × *euroamericana* cv. 'regenerata' × *P. lasiocarpa*). Клони 'Гулівер', 'Дружба', 'Львівська', 'Новоберлінська', 'Ноктюрн', 'Роганська', 'Стрілоподібна' та 'Перспективна' є клонами тополь, відібраних та інтродукованих у 1960-х роках різними дослідниками (Krupel 1970, Starova 1980). Клони 'Dorskamp' і 'Ghoy' інтродуковані протягом останніх 20 років.

Посухостійкість тканин листя десяти клонів тополь визначали за змінами воднофізичних та електрофізіологічних властивостей листового апарату в лабораторії фізіології рослин і мікробіології Інституту садівництва НААН України. Пагони з листям заготовили 15 липня 2021 р. Із дерев кожного клону відбирали однорічні пагони завдовжки до 40 см із 5–10 листками у п'ятиразовій повторності із середньої частини крони з різних боків відносно сторін світу. Тривалість бездошового періоду до відбору зразків становила 9 діб. Щоденні максимальні температури повітря у період 8–15 липня становили від +29,3 до +33,8°C.

Фотосинтетичний оптимум рослин зазвичай становить від 20 до 30°C, але діапазон може бути розширений від 15 до 45°C відповідно до температури під час росту або біологічного типу, до якого належать рослини. Водночас 50°C зазвичай вважається граничною температурою для фотосинтетичної активності судинних рослин (Berry & Björkman 1980). Гранична температура залежить як від виду, так і від генотипу (Challinor et al. 2007). Для кількох клонів *P.* × *canadensis* визначено, що критична температура може змінюватися від 43 до 47°C залежно від віку та стадії розвитку рослини (Marion et al. 2002).

Посухостійким деревам притаманні вищі показники оводненості тканин та відносного тургору і, відповідно, низький водний дефіцит (Kushnyrenko 1975). Тому для визначення впливу посухи на клони тополь оцінено оводненість тканин листків, водний дефіцит,

водоутримувальну здатність (ВЗ) та електропровідність згідно з рекомендаціями (Тогор 2003, Kytaiiev 2009, Kryvoshapka 2012).

Водоутримувальну здатність листя визначали шляхом обчислення втрати ним води за одиницю часу (через 2, 4, 6 і 24 години) за штучного в'янення в кліматичній камері за температури 22°C й освітлення 25 тисяч люкс. Після кожної експозиції у п'яти листків кожного клону визначали масу на електронних вагах із точністю до 1 мг і по закінченні висушували за 100°C. Втрата води під час в'янення пов'язана з ВЗ.

Для визначення водного дефіциту по п'ять листків кожного клону з оновленими зрізами черешків зважували та вміщували в колбу з водою для насичення. Повторність – триразова. Колби ставили в ємність із водою й накривали для створення вологої камери. Після 24-годинного насичення листя висушували фільтрувальним папером і зважували.

Як критерій функціонального стану рослин за умов гідротермічного стресу було використано показник оводненості тканин листя. Для визначення загальної кількості води 4–6 листків уміщували в металеві бюкси (повторність – триразова) і висушували в термостаті за температури 105°C до постійної маси.

Електропровідність (Еп) листового апарату клонів тополь оцінювали за методикою В. В. Тогор (Тогор 2003). Вимірювання Еп листків здійснювали електрометром (кондуктометром) Е 7-13, оснащеним двома голчастими молібденовими електродами, за допомогою яких фіксували зміни Еп. Під час замірів голчасті електроди розташовували посередині листової пластинки, уникаючи основних жилок. Абсолютні значення Еп та її зміни визначали на розсіяному світлі за умов повітряно-сухої експозиції в контрольованих умовах лабораторії (температура повітря – +22...+24°C, вологість повітря – 60–65 %) три рази – відразу після відбору, через 2 та через 4 години. Кількість замірів для кожного листка – чотири. Відносні зміни Еп визначали у такий спосіб: від середнього значення електропровідності листків кожного клону віднімали значення фону приладу (0,23 μS) і, беручи перший замір за 100 % водозабезпечення тканин листків, розраховували відносні зміни залежно від експозиції.

Для кожної змінної нормальність розподілу даних оцінювали за тестом Шапіро – Вілка. Для виявлення статистично значущої різниці між середніми значеннями груп під час дисперсійного аналізу визначали найменшу істотну різницю ($NP_{0,05}$). Шкалу посухостійкості розробляли за результатами аналітичного групування даних. Кластерний аналіз використовували для групування клонів, які характеризуються найбільшою схожістю за їхньою відносною посухостійкістю, у вигляді ієрархічної дендрограми (Sneath & Sokal 1973). Було використано пакети Python з відкритим вихідним кодом для інтерактивних обчислень даних і візуалізації результатів (Hunter 2007, Rossant 2018).

Результати. Згідно з тестом Шапіро – Вілка гіпотеза про нормальність не відхиляється майже для всіх показників ($p\text{-value} > 0,05$), окрім дефіциту вологи ($p\text{-value} = 0,02$).

Втрата води листками різних клонів тополь за певний проміжок часу варіювала за 2-, 4-, 6- та 24-годинного в'янення, що свідчить про різний потенціал посухостійкості рослин. Вже через 2 години відзначали різницю щодо ВЗ листків різних клонів. Після 4 годин спостережень найкращими показниками характеризувалися клони 'Перспективна' (11,1 %), 'Львівська' (13,1 %) та 'Новоберлінська' (16,1 %). Найгірші показники мали клони 'Ghou' (24,6 %), 'Дружба' (30,9 %) та 'Роганська' (36,2 %). Після 6 годин тенденція збереглася – листки клонів 'Перспективна' (ВЗ –14,8 %) та 'Львівська' (ВЗ –17,7 %) мали здоровий вигляд. Листки інших клонів почали зав'ядати й висихати по краях. Оскільки посуха може бути доволі тривалою, то важливим показником під час вивчення посухостійкості клону є втрата води після добової експозиції. Після 24 годин тільки листки клону 'Перспективна' залишилися порівняно здоровими (ВЗ – 43,8 %), а листки решти клонів повністю висохли (втрата води перевищувала 50 %) (рис. 2). На листках клону 'Гулівер', крім висихання, відзначено появу плям брунатного кольору.

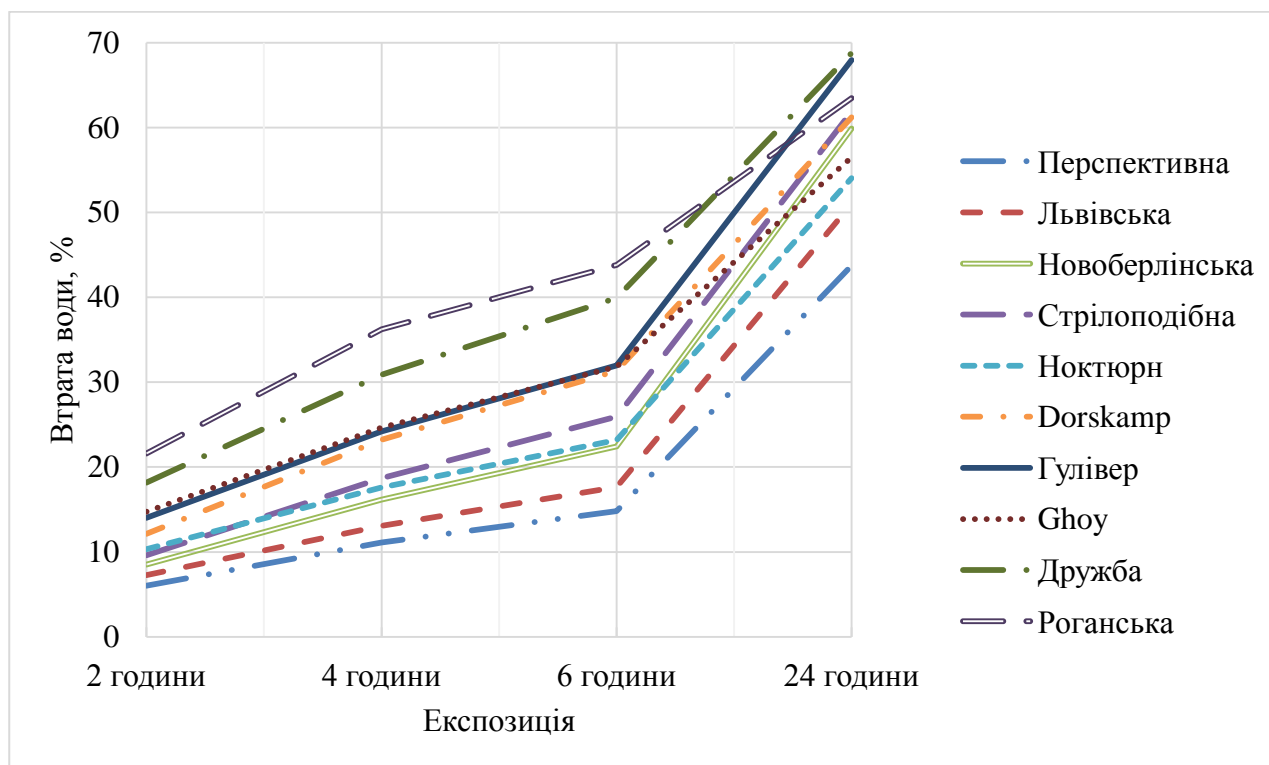


Рис. 2 – Динаміка втрати води тканинами листя різних клонів тополь

Середній показник втрати води за одиницю часу під час в'янення становив для різних клонів від 1,9 до 7,3 %. Найінтенсивніше втрачали воду клони 'Роганська' (6,0 %), 'Дружба' (5,6 %), 'Dorskamp' (5,1 %). Найбільш посухостійкими за цим показником виявилися клони 'Перспективна', 'Львівська', 'Ноктюрн'; середня інтенсивність втрати води ними становила лише 2,7; 3,2 та 3,8 % відповідно.

За посухостійкістю різні клони під час зневоднення більше різняться між собою саме за вмістом води у листках, ніж за іншими показниками, зокрема за водним дефіцитом. Клони 'Львівська', 'Новоберлінська' і 'Перспективна' характеризувалися найменшими показниками водного дефіциту (7,3–7,9 %). Найменш посухостійкими виявилися клони 'Ghoy' і 'Дружба' з найбільшим водним дефіцитом – 12,3 і 16,1 % відповідно.

Оводненість тканин листків – показник, що визначає загальну кількість води в органах рослин. Клони тополь ранжували за цим показником за такою шкалою: високий рівень оводненості тканин листків становить 70–74,9 % ('Ноктюрн', 'Стрілоподібна', 'Гулівер'), середній – 65–69,9 % ('Дружба', 'Перспективна', 'Львівська', 'Новоберлінська', 'Роганська'), низький – 60–64,9 % ('Dorskamp' та 'Ghoy') (рис. 3). Високий показник оводненості є маркером достатнього для життєдіяльності рослин запасу води за умови недостатнього зволоження.

Аналіз отриманих даних свідчить, що фізіологічні процеси, пов'язані із втратою води й підвищенням концентрації клітинного соку за дії посушливих умов, є специфічними для різних клонів. Початкові показники Еп тканин листків клонів тополь змінюються від 2,1 до 3,0 μS . Мінімальні показники електропровідності через одну годину висушування зафіксовано для 'Dorskamp' та 'Ghoy' (1,7 μS), а максимальні – для 'Ноктюрн' (2,6 μS) і 'Стрілоподібна' (2,8 μS). Відповідна тенденція збереглася й через три години спостережень (рис. 4). Найінтенсивніше втрата вологи й, відповідно, зменшення електропровідності відбувалися в листках клонів 'Дружба' і 'Роганська'.

Виявлено кореляційний зв'язок на рівні $r = 0,9$ між показниками Еп та оводненості. Це свідчить про важливе значення високого рівня оводненості листка для підвищення посухостійкості рослин. Між іншими показниками кореляційних зв'язків не виявлено.

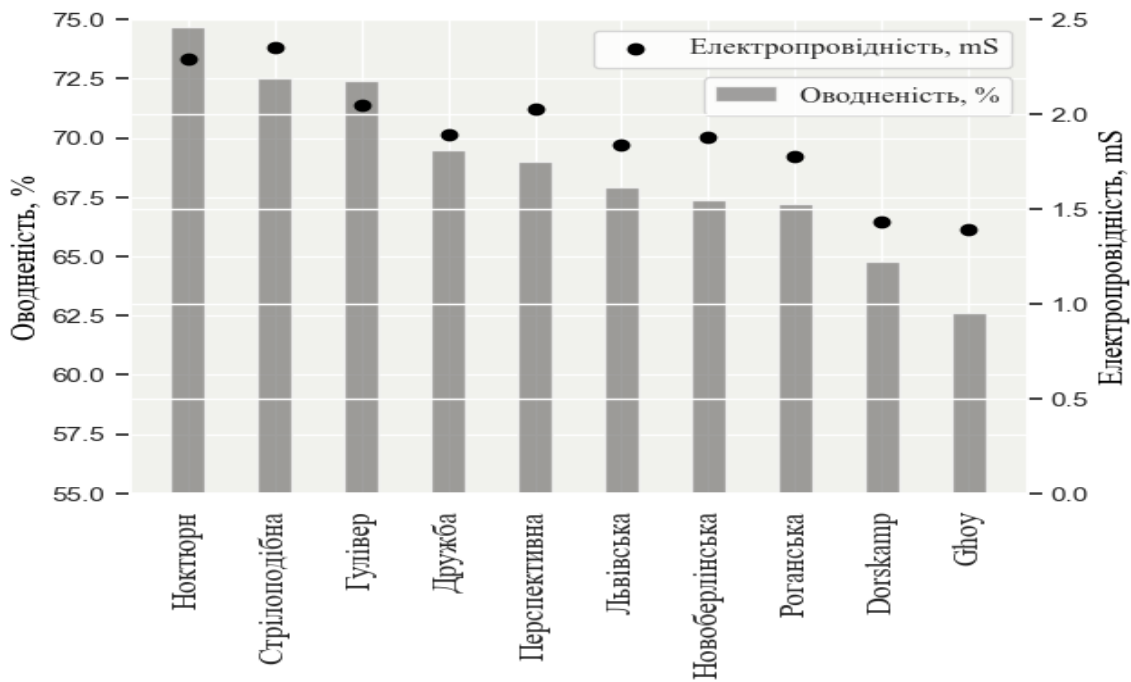


Рис. 3 – Оводненість та електропровідність (через три години) тканин листя різних клонів тополь

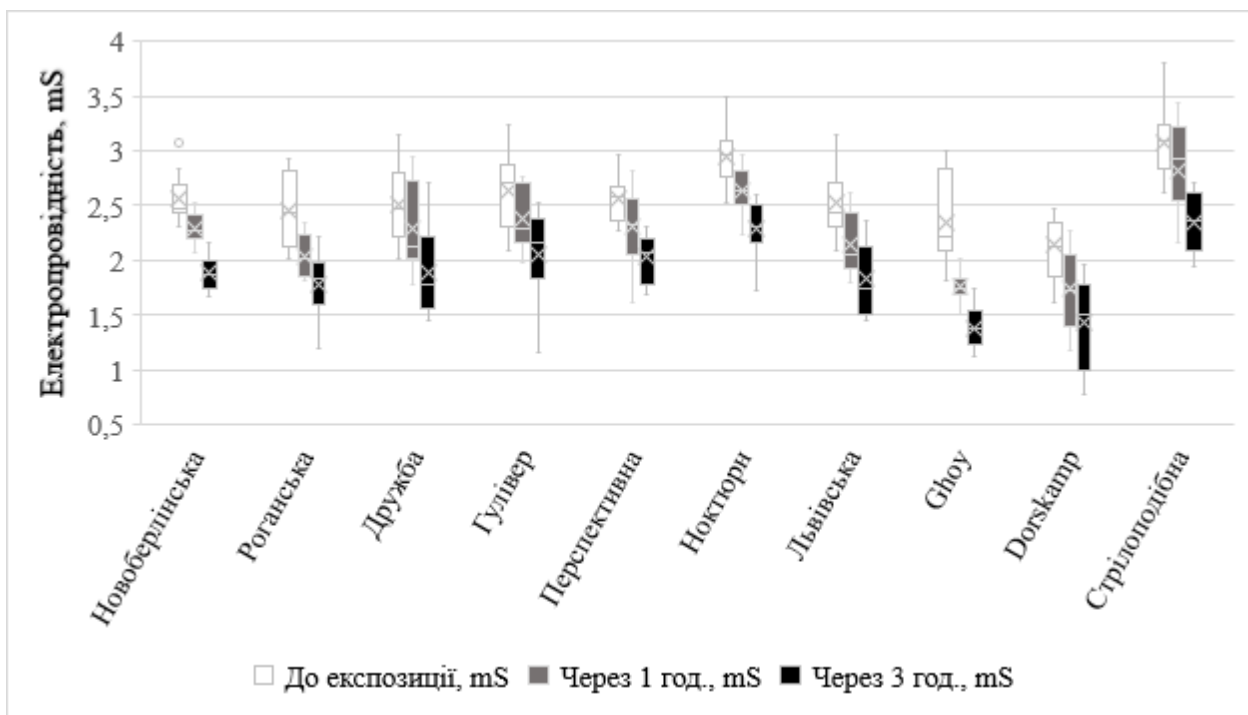


Рис. 4 – Електропровідність тканин листків різних клонів тополь у часі

З наших досліджень випливає, що за фізіологічними показниками листків досліджені клони тополь доцільно розділити на три групи посухостійкості – 1-ша (висока), 2-га (середня) та 3-тя (низька) (табл. 1, 2).

Відносні показники посухостійкості досліджених клонів різняться. Так, до 1-ї групи (високої) посухостійкості належать клони: 'Львівська' – за показниками ВЗ, водного дефіциту та Еп; 'Нокторн' – за показниками оводненості, водного дефіциту та Еп; 'Перспективна' – за показниками ВЗ та водного дефіциту. За більшістю показників до 2-ї групи (середньої) посухостійкості віднесено клони 'Новоберлінська' та 'Ghoy', до 3-ї групи (низької) – 'Дружба', 'Dorskamp', 'Гулівер', 'Стрілоподібна' та 'Роганська' (див. табл. 2).

Таблиця 1

Шкала посухостійкості 10 клонів тополь за показниками водного режиму листя

Група посухостійкості	Водоутримувальна здатність %	Оводненість, %	Водний дефіцит, %	Середня втрата води за одну годину зав'язання, %	Електропровідність, mS
1-ша (висока)	43,8–52,0	70,0 <	7,3–10,2	2,7–3,8	2,0–2,4
2-га (середня)	52,1–60,5	65,0–69,9	10,2–13,2	3,8–4,8	1,7–2,0
3-тя (низька)	60,6–68,8	60,0–64,9	13,2–16,1	4,8–5,9	1,4–1,7

Таблиця 2

Розподіл клонів тополь за шкалою посухостійкості

Клон	Водоутримувальна здатність, %			Оводненість, %			Водний дефіцит, %			Середня втрата води за одну годину зав'язання, %			Електропровідність, mS		
	1*	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
'Львівська'	+				+		+			+			+		
'Ноктюрн'		+		+			+			+			+		
'Перспективна'	+				+		+			+				+	
'Гулівер'			+	+			+					+	+		
'Стрілоподібна'			+	+			+					+			+
'Новоберлінська'		+			+		+					+		+	
'Ghou'		+				+		+				+		+	
'Роганська'			+		+		+					+		+	
'Дружба'			+		+				+			+	+		
'Dorskamp'			+			+	+					+	+		+

*Посухостійкість: 1 – висока, 2 – середня, 3 – низька.

Результати кластерного аналізу, який базується на показниках водозабезпеченості (водоутримувальній здатності, оводненості, електропровідності), виявив три кластери потенційної посухостійкості клонів тополь (рис. 5).

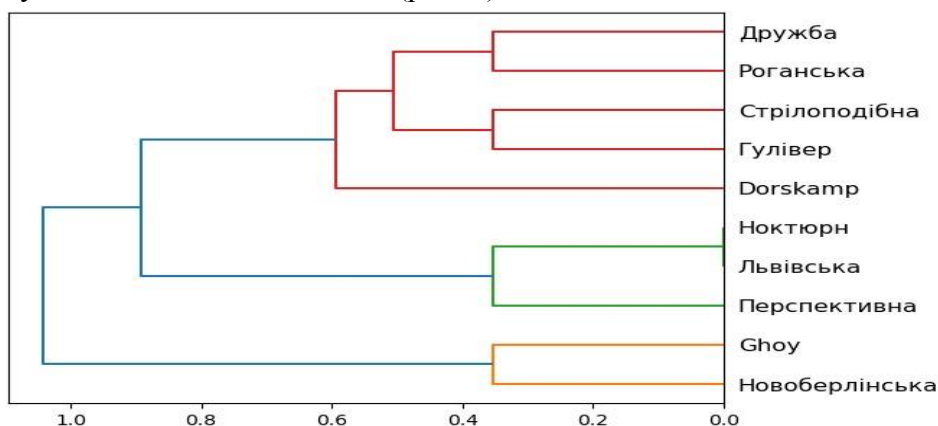


Рис. 5 – Дендрограма 10 клонів тополь за посухостійкістю.

Вісь x демонструє етап кластерізації, обраний для визначення кількості класів

Кластер 1 об'єднує клони 'Дружба', 'Роганська', 'Стрілоподібна', 'Гулівер' та 'Dorskamp', які за різними показниками характеризувалися найнижчою посухостійкістю. Кластер 2 об'єднує клони 'Ноктюрн', 'Львівська' і 'Перспективна', які характеризувалися найвищою посухостійкістю. Кластер 3 охоплює клони 'Ghou' та 'Новоберлінська', які характеризувалися помірною посухостійкістю. Гіпотезу про вищу посухостійкість клонів тополь, які культивують на сході України з 1960-х років та які пройшли процес адаптації до місцевих умов, відхилено. Також відхилено гіпотезу щодо залежності посухостійкості від гібридних комбінацій.

Обговорення. Незважаючи на загальну чутливість до посухи всіх видів роду *Populus*, повідомлялося про дуже широке розмаїття рівнів їхньої стійкості, моделей реакції на дефіцит води, а також ефективності її використання (Gebre & Kuhns 1991, Liu & Dickmann 1996, Monclus et al. 2006, Marron et al. 2014). Це також підтверджено результатами наших досліджень.

Адаптивний потенціал до посухи забезпечується високою водоутримувальною здатністю, яка характеризує спроможність тканин рослин утримувати вільну воду; цей показник зумовлений наявністю в клітинних вакуолях і цитоплазмі низькомолекулярних сполук із високою гідрофільністю (Кгувшарка 2012).

Рослини, які характеризуються високою водоутримувальною здатністю листків та генеративних бруньок, є не лише посухо-, але й морозостійкими. Водоутримувальна здатність корелює також із іншими важливими функціями рослин (Yin et al. 2005). Саме останній показник нерідко вважають основним для визначення рівня посухостійкості рослин. У наших дослідженнях за показником водоутримувальної здатності визначено, що краще адаптованими до посухи виявилися клони 'Львівська' (*P. euramericana* cv. 'regenerata' × *P. trichocarpa*) та 'Перспективна' (*P. ×euroamericana* cv. 'regenerata' × *P. lasiocarpa*).

Посухостійким рослинам також властива вища оводненість тканин листя та низький водний дефіцит. У спекотні літні періоди водний баланс рослин порушується внаслідок перевищення витрат води у порівнянні з її надходженням. Тривала дія посухи призводить до зневоднення органів рослин. Це має наслідком порушення низки фізіологічних процесів: асиміляції та дисиміляції, зокрема зниження інтенсивності фотосинтезу, дихання, транспірації, зміни гормонального обміну (Hrodzynski & Hrodzynski 1964). У наших дослідженнях показник водного дефіциту рослин становив у середньому 9,7 %. За даними М. Д. Кушніренка (Kushnyrenko 1975), це свідчить про достатній рівень забезпечення рослин водою.

Оводненість тканин використовують як важливий показник водообміну, з яким пов'язані інші фізіологічні процеси та біохімічні реакції рослинних клітин (Zaitseva 2010). Здатність рослин підтримувати оводненість тканин листків на оптимальному рівні під час дії стрес-факторів докілька свідчить про їхню високу посухостійкість. Зменшення рівня оводненості в рослині може призвести до незворотних процесів, таких як зменшення приростів пагонів і коренів, передчасного в'янення листків, навіть до їхнього усихання та опадання, зменшення вмісту запасних поживних речовин і порушення асиміляції CO₂. Водночас, на думку В. М. Меженського (Mezhenskyi 2017), оводненість і водний дефіцит використовують лише як допоміжні критерії посухостійкості. Більший вміст води в листках відповідає низьким величинам електропровідного опору, а більшому оводненню листкового апарату відповідають вищі показники електропровідності (Hrodzynski & Hrodzynski 1964).

Існують значні відмінності між генотипами тополі щодо балансу між стійкістю до посухи та ростом (Rosso et al. 2023). Зокрема, дослідження 29 гібридів *P. deltoides* × *P. nigra* демонструє велику генотипову варіабельність щодо продуктивності та ефективності використання води серед різних клонів *P. × euramericana*. Це свідчить, що генотипові відмінності залишаються стабільними протягом тривалого часу в польових експериментах. Зазвичай рослини з вищою продуктивністю за оптимальних водних умов демонструють значніше зниження продуктивності під час посухи (Monclus et al. 2006).

Дані щодо посухостійкості *P. deltoides* є суперечливими. Так, за даними (Tschaplinski et al. 2019) *P. deltoides* характеризується як один із найстійкіших до посухи видів *Populus* у Північній Америці, а його посухостійкість частково зумовлена низьким осмотичним потенціалом і здатністю до осмотичної адаптації. За даними (Cirelli et al. 2016) *P. deltoides* характеризується високою вразливістю до ксилемної кавітації, що свідчить про низьку посухостійкість. У наших дослідженнях на сході України не отримано однозначних результатів щодо посухостійкості клону природного гібрида *P. deltoides* ('Гулівер').

За показником водоутримувальної здатності клон віднесено до 3-ї групи (низької посухостійкості), за показником оводненості – до 1-ї групи (високої).

Показники, які характеризують посухостійкість *P. trichocarpa*, є мінливими як у регіональному, так і в локальному масштабах (Sparks & Black 1999, Dunlap & Stettler 2001). Вид *P. trichocarpa* є одним із батьківських видів у гібридних комбінаціях клонів 'Дружба', 'Ноктюрн', 'Львівська'. Гібриди *P. euramericana* cv. 'regenerata' × *P. trichocarpa* ('Львівська') та *P. trichocarpa* × *P. lasiocarpa* ('Ноктюрн') характеризувалися найвищими показниками відносної посухостійкості. Гібрид *P. trichocarpa* × *P. laurifolia* ('Дружба') за показником водоутримувальної здатності віднесено до 3-ї групи посухостійкості, за показником оводненості – до 2-ї групи, за електропровідністю – до 1-ї групи.

Вид *P. laurifolia* більшою мірою вирізняється морозостійкістю, ніж посухостійкістю, його переважно використовують у гібридних комбінаціях із посухостійкими видами для виведення гібридів, стійких до мультистресів. Зокрема, дослідженнями (Zhang et al. 2022) за шістьма параметрами фотосинтезу та п'ятьма біохімічними характеристиками гібрида *P. laurifolia* × *P. simonii* виявлено, що рослини потомства F₁ були високопосухостійкими, оскільки вирізнялися більшою товщиною листя, вищим рівнем вираженості генів посухостійкості та більшою компактністю листкової тканини, порівнюючи з батьківськими рослинами.

Вид *P. simonii* через високу посухостійкість часто використовують для лісорозведення в програмах боротьби з опустелюванням (Zhang et al. 2022). На Сході України клон *P. simonii* f. *fastigiata* ('Роганська') за показником водоутримувальної здатності віднесено до 3-ї групи посухостійкості, за показником оводненості – до 1-ї групи.

У природному середовищі представники секцій *Aigeiros* та *Tacamahaca* часто утворюють гібриди з виразно визначеним гетерозисним ефектом (Du et al. 2022). Це частково підтверджено нашими попередніми дослідженнями (Kutsokon et al. 2018). Щодо посухостійкості гібриду *P. pyramidalis* × *P. laurifolia* ('Новоберлінська') виявлено, що основні показники водозабезпеченості відповідають 2-й групі посухостійкості.

Клон 'Dorskamp' (*P. × euramericana* var. *Dorskamp*) є стійким до дії посухи (Marron et al. 2002). Водночас за нашими результатами клон 'Dorskamp' за основними показниками водозабезпеченості виявився найменш посухостійким. За показником водоутримувальної здатності клони 'Перспективна', 'Ghoу' та 'Стрілоподібна' належали до 1, 2 та 3-ї груп, за показником оводненості – до 2, 1 та 3-ї відповідно. Отже, не підтверджено гіпотезу щодо залежності відносної посухостійкості різних клонів тополь від гібридних комбінацій.

Вважають, що циклічність стресу забезпечує можливість осмотичної адаптації, якщо спроможність до адаптації існує в генотипі (Tschaplinski et al. 2019). Водночас нами не підтверджено гіпотезу про вищу посухостійкість клонів тополь, які культивують на сході України з 1960-х років, завдяки чому вони мали адаптуватися до місцевих умов.

Висновки. Рід *Populus* є цікавою моделлю для вивчення реакції деревних рослин на посуху. Посухостійкість є складною та мультигенною властивістю, що є результатом комбінації різних адаптивних механізмів. Уразливість тополь до посухи є перешкодою для вирощування їх у посушливих умовах. У світлі поточних кліматичних та економічних умов критерії відбору генотипів тополі для промислового вирощування доцільно удосконалити з урахуванням їхньої стійкості до абіотичних обмежень загалом і до посухи зокрема. Селекція має бути спрямована на генотипи, які оптимально поєднують використання води та виробництво біомаси.

Виявлено, що фізіологічні процеси, пов'язані із втратою води в посушливих умовах, є специфічними для різних клонів тополь. Рослини з високою водоутримувальною здатністю та оводненістю виявляють вищу посухостійкість, що сприяє збереженню нормального перебігу фізіологічних процесів і забезпеченню оптимального водного балансу.

Серед досліджених тополь клони 'Львівська' (*P. euramericana* cv. 'regenerata' × *P. trichocarpa*), 'Перспективна' (*P. × euroamericana* cv. 'regenerata' × *P. lasiocarpa*) та 'Ноктюрн'

(*P. trichocarpa* × *P. lasiocarpa*) характеризувалися найвищою посухостійкістю, клони 'Ghoy' (*P. × euramericana* var. Ghoy) і 'Новоберлінська' (*P. pyramidalis* × *P. laurifolia*) – помірно, клони 'Дружба' (*P. trichocarpa* × *P. laurifolia*), 'Роганська' (*P. simonii* f. *fastigiata*), 'Стрілоподібна' (*P. × euramericana* × *P. pyramidalis*), 'Гулівер' (природний гібрид *P. deltoides*) та 'Dorskamp' (*P. × euramericana* var. Dorskamp) за різними показниками характеризувалися найнижчою посухостійкістю.

Зазначені клони доцільно рекомендувати для створення насаджень на Сході України. Гіпотезу про вищу посухостійкість клонів тополь, які культивують на сході України з 1960-х років та які пройшли процес адаптації до місцевих умов, не підтверджено. Також не підтверджено гіпотезу щодо залежності посухостійкості від гібридних комбінацій.

Залучення додаткових показників, зокрема морфологічних, фізіологічних, біохімічних та молекулярних, сприятиме уточненню результатів, виявленню взаємозв'язків між генотипом і стресом від посухи та визначенню кращих гібридних комбінацій для подальшої селекції й виведення нових гібридів з покращеною посухостійкістю в умовах Сходу України. Розуміння механізмів адаптації рослин до посухи є важливим також для розроблення стратегій збереження та управління рослинними ресурсами в кліматичних умовах, які змінюються.

ПОСИЛАННЯ –REFERENCES

- Allen, C. D., Breshears, D. D., McDowell, N. G. 2015. On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere*, 6: 129. <https://doi.org/10.1890/ES15-00203.1>
- Bacelar, E. L., Moutinho-Pereira, J. M., Gonçalves, B. M., Brito, C. V., Gomes-Laranjo, J., Ferreira, H. M., Correia, C. M. 2012. Water use strategies of plants under drought conditions. In: *Plant responses to drought stress: from morphological to molecular features*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 145-170.
- Berry, J. and Bjorkman, O. 1980. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Annual Review of plant physiology*, 31(1): 491–543.
- Brodribb, T. J., Powers, J., Cochard, H., Choat, B. 2020. Hanging by a thread? Forests and drought. *Science*, 368 (6488): 261–266.
- Challinor, A. J., Wheeler, T. R., Craufurd, P. Q., Ferro, C. A., Stephenson, D. B. 2007. Adaptation of crops to climate change through genotypic responses to mean and extreme temperatures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 119 (1–2): 190–204. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.07.009>
- Chavan, S. B., Dhillon, R. S., Sirohi, C., Uthappa, A. R., Jinger, D., Jatav, H. S., ... & Rajput, V. D. 2023. Carbon Sequestration Potential of Commercial Agroforestry Systems in Indo-Gangetic Plains of India: Poplar and Eucalyptus-Based Agroforestry Systems. *Forests*, 14(3): 559. <https://doi.org/10.3390/f14030559>
- Cirelli, D., Equiza, M. A., Lieffers, V. J., Tyree, M. T. 2016. *Populus* species from diverse habitats maintain high night-time conductance under drought. *Tree Physiology*, 36(2): 229–242. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv092>
- Du, C., Sun, P., Cheng, X., Zhang, L., Wang, L., Hu, J. 2022. QTL mapping of drought-related traits in the hybrids of *Populus deltoides* 'Danhong' × *Populus simonii* 'Tongliao1'. *BMC Plant Biology*, 22(1): 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03613-w>
- Dunlap, J. M. and Stettler, R. F. 2001. Variation in leaf epidermal and stomatal traits of *Populus trichocarpa* from two transects across the Washington Cascades. *Canadian journal of botany*, 79(5): 528-536. <https://doi.org/10.1139/b01-029>
- Food and Agricultural Organization (FAO), 2016. Poplars and other fast-growing trees – renewable resources for future green economies. Synthesis of Country Progress Reports. In: 25th Session of the International Poplar Commission. 13–16 September 2016, Berlin, Germany.
- Fuchylo, Ya. D., Maurer, V. M., Sbytna, M. V., Odarchenko, I. S., Fuchylo, D. Ya. 2016. Features of woody biomass and planting-stock of poplar in “stump” type of plantation management. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 14: 134–140 (in Ukrainian).
- Fürtner, D., Perdomo Echenique, E. A., Hörtenhuber, S. J., Schwarzbauer, P., Hesser, F. 2022. Beyond monetary cost-benefit analyses: Combining economic, environmental and social analyses of short rotation coppice poplar production in Slovakia. *Forests*, 13: 349. <https://doi.org/10.3390/f13020349>
- Gebre, G. M. and Kuhns, M. R. 1991. Seasonal and clonal variations in drought tolerance of *Populus deltoides*. *Canadian Journal of Forest Research*, 21(6): 910–916. <https://doi.org/10.1139/x91-126>
- Greenwood, S., Ruiz-Benito, P., Martínez-Vilalta, J., Lloret, F., Kitzberger, T., Allen, C. D., Fensham, R., Laughlin, D. C., Kattge, J., Bönsch, G., Kraft, N. J. B., Jump, A. S. 2017. Tree mortality across biomes is promoted by drought intensity, lower wood density and higher specific leaf area. *Ecol. Lett.* 20: 539–553. <https://doi.org/10.1111/ele.12748>

- Harfouche, A., Meilan, R., Altman, A. 2014. Molecular and physiological responses to abiotic stress in forest trees and their relevance to tree improvement. *Tree physiology*, 34(11): 1181–1198. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpu012>
- Hrodzynskiy, A. M. and Hrodzynskiy, D. M. 1964. Brief guide to plant physiology. Kyiv, Naukova Dumka, 387 p. (in Russian).
- Hu, Y. and Thomas, B. R. 2019. Hormones and heterosis in hybrid balsam poplar (*Populus balsamifera* L.). *Forests*, 10(2): 143. <https://doi.org/10.3390/f10020143>
- Hunter, J. D. 2007. Matplotlib: A 2D graphics environment. *Computing in Science & Engineering*, 9(03): 90–95. <https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/MCSE.2007.55>
- IPCC. Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability; Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K., Alegria, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., et al. (Eds.). Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA, p. 3056.
- Isebrands, J. G., Aronsson, P., Carlson, M., Ceulemans, R., Coleman, M., ... & Weih, M. 2014. Environmental applications of poplars and willows. In: *Poplars and Willows: trees for society and the environment*. Isebrands, J.G. and Richardson, J. (Eds.). CABI Books. CABI International, p. 258–336. <https://doi.org/10.1079/9781780641089.0258>
- Ji, Y., Zhou, G., Li, Z., Wang, S., Zhou, H., Song, X. 2020. Triggers of widespread dieback and mortality of poplar (*Populus* spp.) plantations across northern China. *Journal of Arid Environments*, 174: 104076. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.104076>
- Kots, Z. P. 1972. Development of female flowers in the grey poplar (*Populus pruinosa* Schrenk.). *Ukrainian Botanical Journal*, 29(2): 202–206 (in Ukrainian).
- Krupei N.S. 1970. Inheritance of crown pyramidal in hybrids of pyramidal poplar. *Forestry and Forest Melioration*, 23: 71–79. (in Russian).
- Kryvoshapka, V. A. 2012. Diagnosis of the functional state of plants in connection with their resistance to drought and high temperatures. *Gardening*, 65(6) : 196–203 (in Ukrainian). http://nbuv.gov.ua/UJRN/sadiv_2012_65_29
- Kushnyrenko, M. D. 1975. Water exchange and drought resistance of fruit plants. Chisinau, Shtyntsya, 215 p. (in Russian).
- Kutsokon, N. K., Khudolieieva, L. V., Los, S. A., Vysotska, N. Yu., Torosova, L. O., Tkach, V. P., ... & Rashydov, N. M. 2018. Evaluation of growth characteristics of one-year poplar and willow clones in short rotation plantation in Kharkiv region. *Studia Biologica*, 12(1): 55–64 (in Ukrainian).
- Kytaiev, O. I., Andrusyk, Yu. Iu., Klochan, P. S., Kovalevskiy, I. V., Kolesnyk, Yu. S., Lushpihan, O. P., Romanov, V. O., Skriaha, V. A., Bednenko, T. V., Fedak, V. S. 2009. Patent for a method for determining water deficiency of plant leaves (description). UA 85524 C2 MPK (2009) G01N 21/64 A 01G 7/00 26.01.2009. Bulletin 2, p. 1–10 (in Ukrainian). <https://uapatents.com/5-85524-sposib-viznachennya-vodnogo-deficitu-listya-roslin.html>
- Liu, Z. and Dickmann, D. I. 1996. Effects of water and nitrogen interaction on net photosynthesis, stomatal conductance, and water-use efficiency in two hybrid poplar clones. *Physiologia Plantarum*, 97(3): 507–512. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1996.tb00510.x>
- Marron, N., Delay, D., Petit, J. M., Dreyer, E., Kahlem, G., Delmotte, F. M., Brignolas, F. 2002. Physiological traits of two *Populus* × *euramericana* clones, Luisa Avanzo and Dorskamp, during a water stress and re-watering cycle. *Tree Physiology*, 22(12): 849–858. <https://doi.org/10.1093/treephys/22.12.849>
- Marron, N., Gielen, B., Brignolas, F., Gao, J., Johnson, J. D., Karnosky, D. F., ... & Ceulemans, R. 2014. Abiotic stresses. In: *Poplars and willows: trees for society and the environment*. Wallingford UK, CABI, p. 337–442.
- Mezhenskyi, V. M. 2017. Fundamentals of scientific research in horticulture. Calculations in Microsoft Excel. Kyiv, NULES of Ukraine, 212 p. (in Ukrainian).
- Monclus, R., Dreyer, E., Villar, M., Delmotte, F. M., Delay, D., Petit, J. M., ... & Brignolas, F. 2006. Impact of drought on productivity and water use efficiency in 29 genotypes of *Populus deltoides* × *Populus nigra*. *New phytologist*, 169(4): 765–777. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01630.x>
- Niemczyk, M., Hu, Y., Thomas, B. R. 2019. Selection of poplar genotypes for adapting to climate change. *Forests*, 10(11): 1041. <https://doi.org/10.3390/f10111041>
- Odarchenko, I. S. and Maurer, V. M. 2016. “Stump” type of poplar plantation management in Polissya region of Ukraine. *Scientific Herald of NULES of Ukraine. Series: Forestry and Decorative Gardening*, 238: 169–175 (in Ukrainian).
- Pallardy, S. G. and Kozłowski, T. T. 1981. Water relations of *Populus* clones. *Ecology*, 62(1): 159–169. <https://doi.org/10.2307/1936679>
- Patlay, I. N. and Rudenko, V. N. 1990. Breeding of fast-growing tree species in Ukraine. *Forestry and Forest Melioration*, 81: 3–7 (in Ukrainian).
- Rood, S. B., Braatne, J. H., Hughes, F. M. 2003. Ecophysiology of riparian cottonwoods: stream flow dependency, water relations and restoration. *Tree Physiology*, 23(16): 1113–1124. <https://doi.org/10.1093/treephys/23.16.1113>
- Rossant, C. 2018. IPython Interactive Computing and Visualization Cookbook: Over 100 hands-on recipes to sharpen your skills in high-performance numerical computing and data science in the Jupyter Notebook. Packt Publishing Ltd.

Rosso, L., Cantamessa, S., Bergante, S., Biselli, C., Fricano, A., Chiarabaglio, P. M., ... & Carra, A. 2023. Responses to drought stress in poplar: what do we know and what can we learn? *Life*, 13(2): 533. <https://doi.org/10.3390/life13020533>

Schiberna, E., Borovics, A., Benke, A. 2021. Economic modelling of poplar short rotation coppice plantations in Hungary. *Forests*, 12(5): 623. <https://doi.org/10.3390/f12050623>

Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., ... & Battaglia, M. L. 2021. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10(2): 259. <https://doi.org/10.3390/plants10020259>

Shvidenko, A., Buksha, I., Krakovska, S. 2018. Vulnerability of Ukraine's forests to climate change: monograph. Kyiv, Nika-Centre, 184 p.

Sneath, P. H. A. and Sokal, R. R. 1973. Numerical taxonomy: the principles and practice of numerical classification. WF Freeman & Co., San Francisco, 573 p.

Sparks, J. P. and Black, R. A. 1999. Regulation of water loss in populations of *Populus trichocarpa*: the role of stomatal control in preventing xylem cavitation. *Tree Physiology*, 19(7): 453–459. <https://doi.org/10.1093/treephys/19.7.453>

Starova, N. V. 1980. The selection of willows. Moscow, Lesnaya Promyshlennost, 208 p. (in Russian).

Tkach, V. P. 1999. Floodplain forest of Ukraine. Kharkiv, Pravo, 368 p. (in Ukrainian).

Torop, V. V. 2003. Application of electrometric methods in horticulture. In: Problems of monitoring in horticulture. Sylaeva, A. M. (Ed.). Kyiv, Agrarna Nauka, p. 145–154 (in Ukrainian).

Tschaplinski, T. J., Abraham, P. E., Jawdy, S. S., Gunter, L. E., Martin, M. Z., Engle, N. L., ... & Tuskan, G. A. 2019. The nature of the progression of drought stress drives differential metabolomic responses in *Populus deltoides*. *Annals of Botany*, 124(4): 617–626. <https://doi.org/10.1093/aob/mcz002>

Vysotska, N. Yu. 2017. Current state and prospects of the poplar genetic resources conservation in Ukraine. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 15: 38–44 (in Ukrainian).

Yin, C., Peng, Y., Zang, R., Zhu, Y., Li, C. 2005. Adaptive responses of *Populus kangdingensis* to drought stress. *Physiologia Plantarum*, 123(4): 445–451. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00477.x>

Zaitseva, I. O. 2010. Modeling of the state of the water density of leaf tissues of different drought-resistant woody plants. [Electronic resource]. *Scientific Herald of NULES of Ukraine*, 2(18). Available at: <https://nd.nubip.edu.ua/2010-2/10zioddr.pdf> (accessed 10.05.2023) (in Ukrainian).

Zalesny, R. S., Headlee, W. L., Gopalakrishnan, G., Bauer, E. O., Hall, R. B., Hazel, D. W., ... & Wiese, A. H. 2019. Ecosystem services of poplar at long-term phytoremediation sites in the Midwest and Southeast, United States. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 8(6): e349. <https://doi.org/10.1002/wene.349>

Zepner, L., Karrasch, P., Wiemann, F., Bernard, L. 2021. ClimateCharts. net—an interactive climate analysis web platform. *International Journal of Digital Earth*, 14: 338–356. <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1829112>

Zhang, L., Jiang, P., Wang, Y., Lan, T., Liu, Y., Zeng, Q. 2022. Comparative study on the drought resistance of young seedling from *Populus laurifolia* × *Populus simonii* F₁ progeny. [Electronic resource]. *Chinese Bulletin of Botany*. Available at: <https://www.chinbullbotany.com/EN/10.11983/CBB22086> (accessed 10.05.2023).

Vysotska N. Yu.^{1,2}

DROUGHT RESISTANCE OF TEN POPLAR CLONES IN EASTERN UKRAINE

¹ Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

² Estonian University of Life Sciences

The interpretation of the response of different poplar clones to water deficit allows identifying the best hybrid combinations to determine genotypes with high drought resistance. The drought resistance of 10 poplar clones at the age of 7 years, growing in cultivars testing in eastern Ukraine, was evaluated. The research was conducted under laboratory conditions by assessing such indicators as leaf tissue water content, water deficit, leaf water-holding capacity, and electrical conductivity. The clones 'Perspektyvna' (*P. × euroamericana* cv. 'regenerata' × *P. lasiocarpa*), 'Lvivska' (*P. × euramericana* cv. 'regenerata' × *P. trichocarpa*), and 'Nocturne' (*P. trichocarpa* × *P. lasiocarpa*) showed a higher resistance to drought. The least drought-tolerant clones were 'Dorskamp' (*P. × euramericana* var. Dorskamp) and 'Druzhba' (*P. trichocarpa* × *P. laurifolia*). The hypothesis of higher drought resistance in poplar clones cultivated in eastern Ukraine since the 1960s and adapted to local conditions was not confirmed. The hypothesis regarding the dependence of drought resistance on hybrid combinations was also not confirmed.

К е у в о р д с : *Populus* spp., leaves, hydration, water deficit, water-holding capacity.

E-mail: vysotska_n@ukr.net

Одержано редколегією 15.05.2023