

УДК. 581.144.9:58.032.3

Ю. Хома, асп., Н. Куцоконь, канд. біол. наук
Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ, Україна**ФЕНОЛОГІЯ РОЗКРИВАННЯ БРУНЬОК У РІЗНИХ КЛОНІВ ТОПОЛЬ ТА ВЕРБ**

Швидкорослі дерева тополя і верба є цінними енергетичними рослинами. В умовах глобальних змін клімату дослідження фенології розкривання та закривання бруньок у дерев необхідні для визначення тривалості вегетаційного сезону рослин, оптимального періоду посадки та проведення сезонних робіт для досягнення високої продуктивності. Мета нашого дослідження полягала у вивченні фенології розкривання бруньок у різних клонів тополі та верби, що важливо для передбачення можливих реакцій деревних рослин на кліматичні зміни. Матеріали та методи: Спостереження за фенологією розкривання бруньок у тополь і верб проводили на рослинах, що ростуть як у відкритому, так і захищеному ґрунті. Дослідження рослин у відкритому ґрунті здійснювали на дослідній ділянці швидкорослих біоенергетичних дерев у НБС ім. М.М. Гришка НАН України. Для досліджень у закритому ґрунті відбирали живці 9-ти найпродуктивніших клонів, які висаджували в горщики. Протягом вегетаційного сезону рослини утримували на відкритому повітрі, а після настання сезонного листопаду їх перенесли в неопалюване приміщення із обмеженим світловим режимом. Навесні, після виходу із стану спокою, щотижня протягом 45 днів аналізували фенологію розкривання бруньок згідно з шестибальною шкалою. Результати досліджень показали, що у рослин тополі, вирощених у лабораторних умовах, бруньки розкривалися швидше порівняно з вербами, у той час як у рослин на дослідній ділянці бруньки у верб, навпаки, розкривалися швидше, ніж у тополь. Такий вплив може бути зумовлений обмеженням світлового режиму в приміщенні, який, вірогідно, сильніше впливає на розкривання бруньок у верб, а також наявністю неврахованих чинників в умовах відкритого ґрунту. В умовах закритого ґрунту у верб спостерігали тенденцію до швидшого розпускання бічних бруньок, а у тополь в аналогічних умовах більшість клонів показали швидший ріст апікальних бруньок.

Ключові слова: тополі (*Populus*), верби (*Salix*), фенологія розкривання бруньок, глобальні зміни клімату.

Вступ. Верби (*Salix*) та тополі (*Populus*) належать до рослин родини Salicaceae. Ці дерева поширені в помірних та арктичних регіонах і пристосовані до широкого кола умов довкілля [1]. Високий рівень генетичної різноманітності [2] і широке фенотипове різноманіття дозволяє застосовувати їх як модельні деревні рослини, в тому числі й для вивчення адаптаційних та еволюційних процесів. Тополі та верби мають швидкий ріст, високі прирости біомаси та легко розмножуються вегетативно, що робить їх економічно привабливими біоенергетичними культурами [3]. В останні десятиліття короткоротаційні плантації швидкорослих дерев тополі та верби все частіше вирощують у всьому світі та використовують для виробництва біомаси. Для досягнення високої продуктивності швидкорослих дерев важливу роль відіграють інтенсивна агротехніка, відповідний посадковий матеріал та водний режим, особливості ґрунту і кліматичні умови [3–5].

В умовах глобальних змін клімату дослідження фенології розвитку бруньок у дерев необхідні для визначення тривалості вегетаційного сезону рослин, оптимального періоду посадки та проведення сезонних робіт для досягнення високої продуктивності. В Україні такі дослідження проводяться лише на плодкових деревах, зокрема персику [6], хоча подібні роботи є важливими і для лісових культур.

Фенологія розкривання бруньок – вагомий фактор у рості та розвитку дерев [7, 8]. Утворення бруньок є передумовою виживання та росту дерев, що синхронізуються щороку із щорічними змінами температури [9]. Температура, фотоперіод та інші кліматичні фактори спричиняють у рослин ряд гормональних реакцій, які призводять до розкривання бруньок навесні, а також їх закривання восени [10, 11]. Щоб уникнути несприятливих умов під час зими, які пов'язані із сезонними змінами фотоперіоду та температури, дерева переходять у стан спокою. Цей період у листяних дерев супроводжується опаданням листків та утворенням нових навесні, а не утриманням їх протягом всієї зими [12]. Спокій є необхідною умовою розвитку акліматизації та толерантності до заморожування [13]. Розкривання бруньок та відновлення росту регулюються температурою, світлом і фотоперіодом. Гормональні сигнали та вміст цукрів

індукують камбіальний ріст стебла та розвиток меристем всередині бруньки навіть ще до видимої появи видовження бруньок [14].

Відновлення росту та розкривання бруньок залежать від накопичення температурних одиниць [15]. Температура є важливим фактором, що регулює розкривання бруньок у деревних рослин помірних широт [16, 17], проте довжина світлого дня (фотоперіод) також відіграє важливу роль [18]. Зменшення фотоперіоду восени є основним екологічним критерієм, що сприяє припиненню росту, а його зростання навесні сприяє розпусканню бруньок у багаторічних рослин [19]. Реакція на фотоперіод знаходиться під сильним генетичним контролем [20] і зберігається, коли дерева розповсюджуються на різних широтах.

Найкращим температурним діапазоном для розкривання бруньок багатьох дерев у помірних широтах зазвичай вважається температура від + 3° С до + 7° С; як нижчі, так і вищі температури є менш ефективними [21]. Вагоме значення має й баланс між денними та нічними температурами [22]. Температура, кліматичні умови та терміни розкривання бруньок є дуже важливими для багаторічних рослин та їх продуктивності. З одного боку, генотипи з південних регіонів можуть мати перевагу у продуктивності за рахунок тривалішого вегетаційного сезону, зумовленого раннім розкриванням бруньок навесні та їх пізнім закриванням восени [11]. Прогнозований більш тривалий вегетаційний період у майбутньому може бути краще використаний генотипами з півдня, оскільки вони припинять ріст пізніше, ніж місцеві дерева [11].

З іншого боку, внаслідок занадто раннього розкривання бруньок навесні, дерева можуть зазнавати пошкодження морозом, що може призвести до втрати ресурсів та навіть загибелі [23]. В той же час гібриди тополь *Aigeiros* × *Tacamahaca* з північних регіонів, висаджені в більш південних широтах, демонстрували затримку в розпусканні бруньок навесні та ранню зупинку росту восени [24], що спричиняє зниження продуктивності.

У зв'язку з глобальними змінами клімату терміни фенологічних подій зміщуються [25]. У Європі, особливо під час настання ранньої весни, глобальне потепління змінює фенологію дерев [26], що може призвести до різних реакцій як у окремих рослин, так і на рівні попу-

ляцій. Ініціація, хід акліматизації та початок росту опосередковуються температурою та фотоперіодом [16]. Оскільки зміни фенології, спричинені кліматом, стають все більше очевидними, потреба в кількісній оцінці цих змін стає важливою в наш час.

Мета нашого дослідження полягала у вивченні фенології розкривання бруньок у різних клонів тополі та верби, що є важливим для передбачення можливих реакцій деревних рослин на кліматичні зміни.

Матеріали і методи дослідження. Спостереження за фенологією розкривання бруньок у тополь і верб проводили на рослинах в ювенільній стадії розвитку, що ростуть як у відкритому, так і закритому ґрунті. У квітні 2018 проводили спостереження за деревами, висадженими на випробній дослідній ділянці швидкорослих біоенергетичних дерев, закладених в 2015 р. у Національному Ботанічному саду ім. М.М.Гришка НАН України (м. Київ), яка включає 19 клонів тополь та 10 клонів верб. Детальний опис ділянки, характеристик клонів та їх продуктивності наведено в нашій попередній роботі [27]. Більшість клонів для закладення ділянки були надані Українським науково-дослідним Інститутом лісового господарства та агролісомеліорації (УкрНДІЛГА), і є переважно клонами української селекції [28]. Всього було проведено 5 обліків протягом 12 днів, з 12 по 23 квітня.

За результатами попередніх досліджень [27] було визначено клони з найбільш активним ростом рослин: три клони верби ('Лісова пісня', 'Печальна', 'Житомирська-1') та шість клонів тополь ('Стрілоподібна', 'Канадська×Бальзамічна', 'Слава України', 'Гулівер', 'Волосисто-плідна' та 'Новоберлінська-3'). Посадковий матеріал

вищезгаданих клонів відбирали на дослідній ділянці в Національному ботанічному саду в лютому 2018 року, живці висаджували в горщики об'ємом 1 л з ґрунтовою сумішшю, яка складалася із чорнозему, торфу та вермикуліту у співвідношенні (10:10:1,5). Протягом всього вегетаційного сезону рослини утримували в горщиках на відкритому повітрі, забезпечуючи достатній полив. Кожен варіант висаджували в 6-ти повторностях. Після настання сезонного листопаду рослини переносили в неопалюване приміщення із обмеженим світловим режимом. Середня температура під час зберігання становила 5–7°C, в період розкривання бруньок – 7–12°C. В період спокою та під час розкривання бруньок рослини утримували в приміщенні без штучного освітлення. Починаючи з 6-го лютого 2019 року, після виходу із стану спокою, щотижня проводили аналіз фенології розкривання бруньок протягом 45 днів.

Стадії розкривання бруньок (РБ) характеризували згідно шестибальної "Шкали розкривання бруньок" за методикою [29] (з модифікацією Анн Крістін Роннберг-Вестлюнг (Ann Christin Rönnerberg-Wästljung), яка застосовується в Шведському аграрному університеті (Швеція, Уппсала) (табл. 1). Окремо оцінювали динаміку розкривання апікальних та бічних бруньок. Отримані результати вимірювань опрацьовували статистично за загальноприйнятими методиками. Статистичну достовірність відмінностей між варіантами оцінювали за непараметричними критеріями Манна-Уїтні та Краскела-Уолліса із використанням пакету аналізу SPSS Statistics та MS Excel.



Рис. 1. Шкала розкривання бруньок [за 29] з модифікаціями Ann Christin Rönnerberg-Wästljung

- А.** Оцінка 1. Бруньки потовщені, але ініціалей не видно. Оцінка 1,5, якщо верхівка видається приблизно на 1 мм, але покривні луски закриті. **Б.** Оцінка 2. Бруньки розкриваються, ініціали видимо видаються на одну довжину покривних лусок. **В.** Оцінка 3. Бруньки все ще відкриваються, листові примордії витягнуті, скручені та довші, ніж покривні луски. **Г.** Оцінка 4. Листки напіврозкриті, покривні луски опадають. Оцінка 4,5, якщо більшість листків, але не всі, розкриті. **Д.** Оцінка 5. Листки повністю розкриті. **Е.** Оцінка 6. Приріст пагона > 1 см, листки повністю розкриті

Результати та їх обговорення. Аналіз розкривання бруньок у рослин на дослідній ділянці розпочинали 12 квітня, при цьому у трьох клонів верб бруньки знаходилися вже на стадії повністю розкритих листків (РБ=5), в той час як у тополь різних клонів бруньки були відкриті на 0,5 ('Слава України') – 4 бали ('Волосисто-плідна')

(рис. 1). Протягом часу обліків у шести клонів тополь спостерігали швидкий процес розгортання бруньок, і вже через 10 днів у цих клонів рівень розкривання становив 5 балів. Тобто, як бачимо, у верб стадія повністю розкритих листків наступала щонайменше на 10 днів раніше порівняно з тополями.

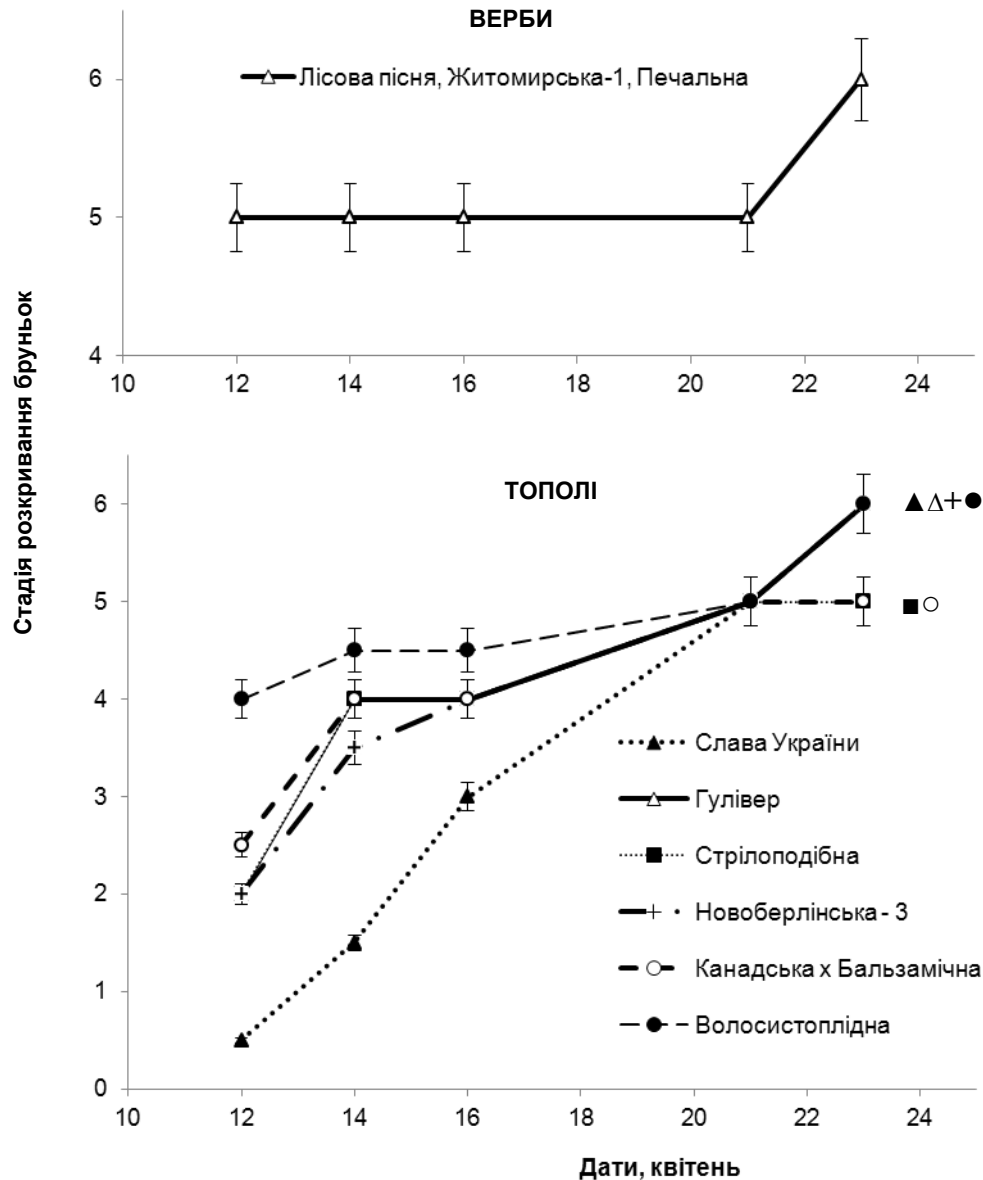


Рис. 1. Динаміка розкриття бруньок у верб і тополь на дослідній ділянці

У рослин, вирощених у горщиках, динаміка розкриття була відмінною, оскільки основні бруньки швидше розпускалися у більшості клонів тополь порівняно з вербами. Починаючи з 6-го лютого показники згідно зі "Шкалою розкриття бруньок" (табл. 1) становили у тополь 1–1,5 бали (рис. 2). Найактивніше розкриття бруньок, як апікальних, так і бічних, спостерігали у клонів тополь 'Гулівер' та 'Новоберлінська-3' (рис. 2 і 3). У клону 'Слава України' бічні бруньки хоч і починали розпускатися пізніше (на 13-у добу від початку спосте-

режень, (рис. 2), проте на 45 добу як основна, так і бічні бруньки досягали стадії РБ=6 (рис. 3). В інших клонів швидкорослих дерев бруньки розкривалися дещо повільніше, зокрема, у клонів верб 'Житомирська-1', де рівень розкриття як апікальних, так і бічних бруньок був найнижчим ($РБ=2,3\pm0,4$ та $РБ=2,7\pm0,4$, $p<0,05$), та 'Лісова пісня', де рівень розкриття апікальних бруньок також достовірно відрізнявся від такого у клонів з максимально розкритими бруньками ($РБ=5,2\pm0,3$, $p<0,05$) (рис. 3).

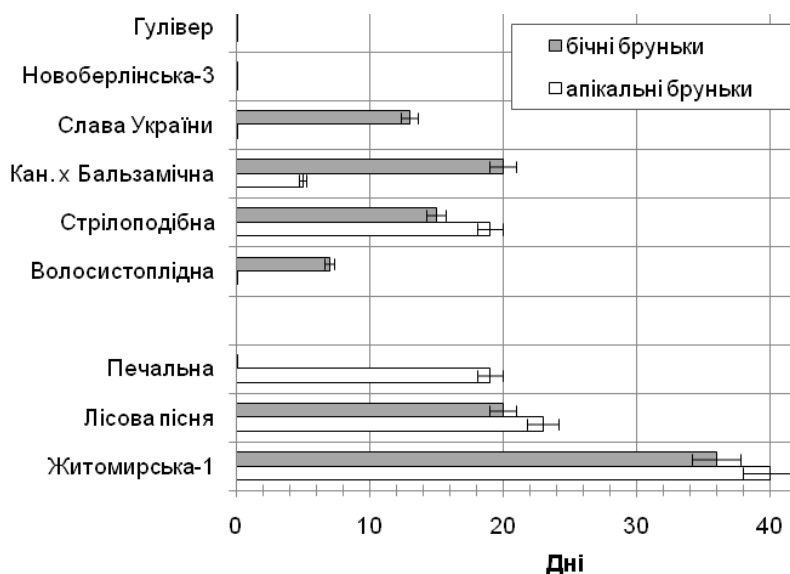


Рис. 2. Початок розкривання (РБ=1) бруньок (день) у тополь та верб в умовах закритого ґрунту

Загалом у верб апікальні бруньки починали розкриватися пізніше, починаючи з 19–40-го дня дослідження залежно від клону. В той же час, бічні бруньки у верб починали розкриватися раніше, ніж апікальні, за винятком верби 'Житомирська-1', де бруньки були

значимо менше відкриті навіть на 45 добу спостереження порівняно з максимальними показниками ($РБ=2,7 \pm 0,4$, $p < 0,05$). Натомість, у бічних бруньок верби 'Печальна' стадія РБ=1 виявлялася вже на перший день спостереження (рис. 2).

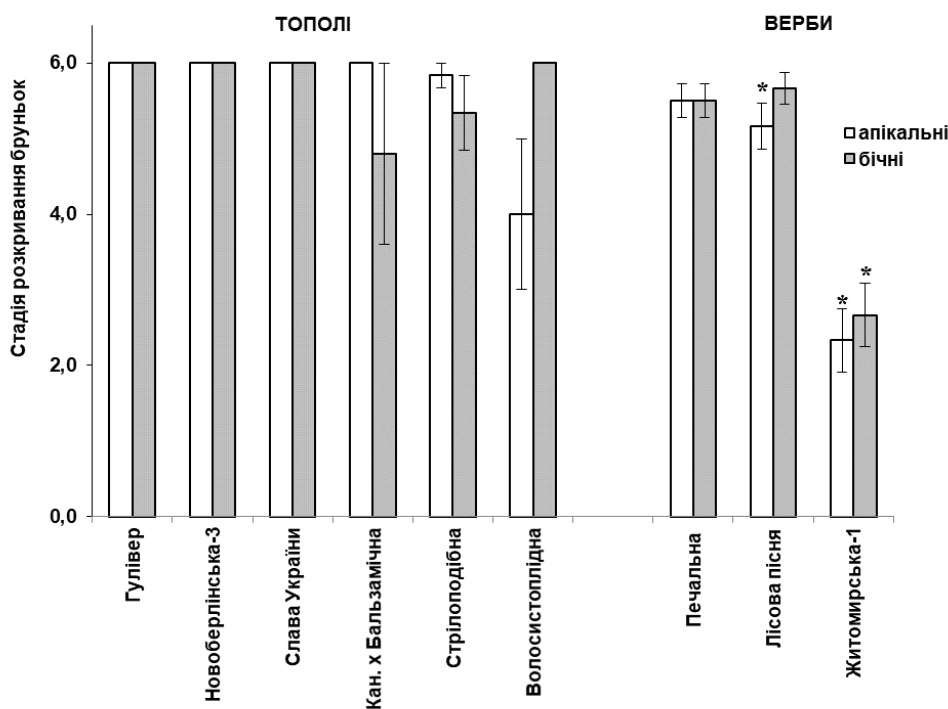


Рис. 3. Розкривання апікальних та бічних бруньок у різних клонів тополь і верб на 45-й день експерименту в умовах закритого ґрунту

Примітка: * – $p < 0,05$, відмінності достовірні порівняно з максимальним рівнем розкривання бруньок (РБ=6).

Отже, в умовах закритого ґрунту у верб спостерігали тенденцію до швидшого розпускання бічних бруньок, а у тополь в таких умовах більшість клонів показали швидший ріст апікальних бруньок. Очевидно, це пов'язане з ростовими особливостями представників

родів *Salix* та *Populus*, оскільки для багатьох верб характерне значне галузження стебла.

Як свідчать отримані результати, у рослин тополі, вирощених в лабораторних умовах, спостерігали швидші темпи розкривання бруньок порівняно з вербами, в той

час як у рослин на дослідній ділянці бруньки у верб, навпаки, розкривалися швидше, ніж у тополь. На нашу думку, такий вплив обумовлений обмеженням світлового режиму в приміщенні, який, вірогідно, сильніше впливає на розкривання бруньок у верб. Адже відомо, що спектр світла, разом з температурою та тривалістю дня є вагомими чинниками регуляції розвитку бруньок навесні. Зокрема, обмеження освітлення у блакитному спектрі (до 500 nm) спричиняло затримку розкривання бруньок на 3-6 днів у берези *Betula pendula*, вільхи *Alnus glutinosa* та дуба *Quercus robur* [30]. І, навпаки, додаткове освітлення дерев на вулицях міста в нічних час здатне пробуджувати бруньки до 7 днів раніше норми [31].

Відмінності між розкриванням бруньок у тополь та верб в польових та в контрольованих умовах спостерігали й у дослідженні [32]. Причиною цього автори вважають наявність в умовах відкритого ґрунту значно більшої кількості неврахованих чинників (наприклад, режим зволоження), які можуть по-різному впливати на терміни розкривання бруньок. Очевидно, фенологія розкривання бруньок – дуже чутлива до змін довкілля ознака, тому дослідження реакцій різних видів дерев є необхідними для упередження негативного впливу кліматичних змін на їх продуктивність.

Висновки. У рослин тополі, вирощених в горщиках у лабораторному приміщенні, спостерігали швидші темпи розкривання бруньок порівняно з вербами, у той час як у рослин на дослідній ділянці бруньки у верб, навпаки, розкривалися швидше, ніж у тополь. На нашу думку, такий вплив обумовлений з одного боку обмеженням світлового режиму в приміщенні, який, вірогідно, сильніше впливає на розкривання бруньок у верб. З іншого боку, відмінності можуть бути обумовлені більшою кількістю неврахованих чинників, які впливають на рослини в умовах відкритого ґрунту порівняно з рослинами, вирощеними в умовах захищеного ґрунту.

В умовах закритого ґрунту у верб спостерігали тенденцію до швидшого розпускання бічних бруньок, а у тополь в таких умовах більшість клонів показали швидший ріст апікальних бруньок. Очевидно, це пов'язане з ростовими особливостями представників родів *Salix* та *Populus*, оскільки для багатьох верб характерне значне галушення стебла.

Подяка. Робота виконувалася за підтримки цільової програми наукових досліджень НАН України "Біопаливні ресурси і біоенергетика", проект "Створення генофонду високопродуктивних біоенергетичних трав'янистих та деревних культур як біопаливного матеріалу" у рамках співпраці з Національним Ботанічним садом ім. М.М. Гришка НАН України, за що автори щиро вдячні заступнику директора д-ру с.-г. наук Рахметову Д.Б.

Список використаної літератури:

1. *Salix*: botany and global horticulture / Y. Kuzovkina, M. Weih, A. Romero et al. // Hortic Revs. – 2008. – Vol. 34. – P. 447–489.
2. Polymorphism and divergence in two willow species, *Salix viminalis* L. And *Salix schwerinii* E. / S. Berlin, J. Fogelqvist, M. Lascoux et al. // Wolf. G3, 2011. – Vol. 1 – P. 387–400.
3. Куцоконь Н.К. Тринадцять цікавих фактів про тополь / Н.К. Куцоконь // Біологія і хімія в рідній школі, 2014. – № 5. – С. 45–47.
4. Bioenergy farming using woody crops: A review / C. Pleguezuelo, V. Zuazo, C. Bieler et al. // Agronomy for Sustainable Development, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 2015. – Vol. 35(2). – P.95–119.
5. Kutsokon N. A global analysis of temperature effects on *Populus* plantation production potential / N. Kutsokon, S. Jose, E. Holzmüller // Amer. J. of Plant Sci., 2015. – Vol. 6, P.23–33.
6. Голубкова І.М. Особливості росту та розвитку видів роду *Persica mill.* в умовах правобережного лісостепу України // Наук. вісн. НЛТУ України, 2016. – Вип. 26. № 3. – С. 60–64.
7. Chuine I. Why does phenology drive species distribution? / I. Chuine // Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences, 2010. – P. 365.

8. Dijkstra J. The effects of climate change on species composition, succession and phenology: a case study / J. Dijkstra, E. Westerman, L. Harris // Global Change Biology, 2011. – Vol. 17. – P. 2360–2369.
9. Hänninen H., Kramer K.A. Framework for modelling the annual cycle of trees in boreal and temperate regions / H. Hänninen, K.A. Kramer // Silva Fennica, 2007. – Vol. 41(1) – P. 167–205.
10. Hannah L. Phenology / L. Hannah // Climate Change Biology (2nd Ed.), 2015.
11. Rohde A. Temperature signals contribute to the timing of photoperiodic growth cessation and bud set in poplar / A. Rohde, C. Bastien, W. Boerjan // Tree Physiol., 2011. – Vol. 31(5). – P. 472–482.
12. Arora R. Induction and release of bud dormancy in woody perennials: a science comes of age / R. Arora, L. Rowland, K. Tanino // Hort Sci., 2003. – Vol. 38(5). – P. 911–921.
13. Schoot C. Dormant cycycling at the shoot apical meristem: transitioning between self-organization and self-arrest / C. Schoot // Plant Sci., 2011. – Vol. 180. – P.120–131.
14. Pletsers A. Chilling temperature and photoperiod influence the timing of bud burst in juvenile *Betula pubescens* Ehrh. and *Populus tremula* L. Trees / A. Pletsers, A. Caffarra, C. Kelleher // Annals of Forest Sci., 2015. – Vol. 72. – P. 941–953.
15. Perry T. Dormancy of trees in winter / T. Perry // Science, 1971. – Vol. 171. – P. 29–36.
16. Polgar C. Leaf-out phenology of temperate woody plants: from trees to ecosystems / C. Polgar, R. Primack // New Phytol., 2011. – Vol. 191. – P. 926–941.
17. The vegetative buds of *Salix myrsinifolia* are responsive to elevated UV-B and temperature / U. Sivadasan, T. Randriamanana, R. Jalkanen-Tiitto et al. // Plant Physiol. Biochem., 2015. – Vol. 93. – P. 66–73.
18. Sanz-Perez V. Differential and interactive effects of temperature and photoperiod on bud burst and carbon reserves in two co-occurring Mediterranean oaks / V. Sanz-Perez, P. Castro-Diez, F. Valladares // Plant Biol., 2009. – Vol. 11. – P. 142–151.
19. Lagercrantz U. At the end of the day: a common molecular mechanism for photoperiod responses in plants? / U. Lagercrantz // J. ExpBot., 2009. – Vol. 60. – P. 2501–2515.
20. Climate driven local adaptation of ecophysiology and phenology in balsam poplar, *Populus balsamifera* L. (Salicaceae) / S. Keller, R. Soolanayakanahally, R. Guy et al. // Am. J. Bot., 2011. – Vol. 98. – P. 99–108.
21. Saure M.C. Dormancy release in deciduous fruit trees / M.C. Saure // Horticultural Reviews, 1985. – Vol. 7. – P. 239–300.
22. Way D. Tree phenology responses to warming: spring forward, fall back? / D. Way // Tree Physiology, 2011. – Vol. 31. – P. 469–471.
23. Pellis A. Genetic variation of the bud and leaf phenology of seventeen poplar clones in a short rotation coppice culture / A. Pellis, I. Laureysens, I. Ceulemans // Plant Biology, 2004. – Vol. 6. – P. 38–46.
24. Biomass and genotype × environment interactions of *Populus* energy crops in the Midwestern United States / R. Zalesny, R. Hall, J. Zalesny et al. // Bioenerg. Res., 2009. – Vol. 2. – P. 106.
25. Parmesan C. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems / C. Parmesan, G. Yohe // Nature, 2003. – Vol. 421. – P. 37–42.
26. Shifting plant phenology in response to global change / E. Cleland, I. Chuine, A. Menzel et al. // Trends in Ecology & Evolution, 2007. – Vol. 22. – P. 357–365.
27. Ростові характеристики та енергопродуктивність тополь і верб на короткоротаційній плантації за перший рік вегетації / Н. Куцоконь, Д. Рахметов, Л. Худолєва та ін. // Біологічні системи, 2017. – Т. 9, Вип. 2. – С. 238–246.
28. Старова Н. Селекція ивових / Н. В. Старова // Лесн. пром-сть, 1980. – 208 с.
29. Weih M. Genetic and environmental variation in spring and autumn phenology of biomass willows (*Salix* spp.): effects on shoot growth and nitrogen economy / M. Weih // Tree Physiol., 2009. – Vol. 29(12). – P.1479–1490.
30. Brelsford C. Blue light advances bud burst in branches of three deciduous tree species under short-day conditions / C. Brelsford, T. Robson // Trees: Structure and Function, 2018. – Vol. 32 (4). – P. 1157–1164.
31. Light pollution is associated with earlier tree bud burst across the United Kingdom / R.R. French-Constant, J. Somers-Yeates, J. Bennie et al. // Proc. Biol. Sci., 2016. – Vol. 29. – P. 283.
32. Genetic architecture of spring and autumn phenology in *Salix* / L. Ghelardini, S. Berlin, M. Weih et al. // BMC Plant Biol., 2014. – Vol. 14. – P. 31.

References (Scopus):

1. Kuzovkina Y., Weih M., Romero A., Belyaeva I. et al. *Salix*: botany and global horticulture. Hortic Revs. 2008, 34:447–489.
2. Berlin S., Fogelqvist J., Lascoux M. et al. Polymorphism and divergence in two willow species, *Salix viminalis* L. and *Salix schwerinii* E. Wolf. G3. 2011, 1:387–400.
3. Kutsokon N. Thirteen interesting facts about poplars. Biology and chemistry in school. 2014, 5: 45–47.
4. Pleguezuelo C. Bioenergy farming using woody crops. A review. Agronomy for Sustainable Development, Springer Verlag / EDP Sciences/INRA. 2015, 35: (2):95–119.
5. Kutsokon N., Jose S. Holzmüller E. A global analysis of temperature effects on *Populus* plantation production potential. American Journal of Plant Sciences. 2015, 6: 23–33.

6. Holubkova I. Some features of growth and development of the types of the *Persica* Mill. in the conditions of the right-bank forest-steppe of Ukraine. Scientific Bulletin of UNFU. 2016, 26 (3): 60-64.
7. Chuine I. Why does phenology drive species distribution? Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences. 2010, 365: 3149–3160-5.
8. Dijkstra J., Westerman E., Harris L. The effects of climate change on species composition, succession and phenology: a case study. Global Change Biology 2011, 17: 2360–2369.
9. Hänninen H., Kramer K. A Framework for modelling the annual cycle of trees in boreal and temperate regions. Silva Fennica. 2007, 41(1): 167-205.
10. Hannah L. Phenology. Climate Change Biology (Second Edition), 2015.
11. Rohde A., Bastien C., Boerjan W. Temperature signals contribute to the timing of photoperiodic growth cessation and bud set in poplar. Tree Physiol. 2011, 31(5):472-82.
12. Arora R., Rowland L., Tanino K. Induction and release of bud dormancy in woody perennials: a science comes of age. Hort Science. 2003, 38(5): 911-921.
13. Schoot C. Dormancy cycling at the shoot apical meristem: transitioning between self-organization and self-arrest // Plant Sci. 2011, 180:120–131.
14. Pletsers A., Caffarra A., Kelleher C., Donnelly A. Chilling temperature and photoperiod influence the timing of bud burst in juvenile *Betula pubescens* Ehrh. and *Populus tremula* L. trees. Annals of Forest Science. 2015, 72:941–953.
15. Perry T. Dormancy of trees in winter. Science 1971, 171:29–36.
16. Polgar C., Primack R. Leaf-out phenology of temperate woody plants: from trees to ecosystems. New Phytol 2011, 191:926–941.
17. Sivadasan U., Randriamanana T., Julkunen-Tiitto R., Nybakken L. The vegetative buds of *Salix myrsinifolia* are responsive to elevated UV-B and temperature. Plant Physiol. Biochem. 2015, 93: 66-73.
18. Sanz-Perez V., Castro-Diez P., Valladares F. Differential and interactive effects of temperature and photoperiod on bud burst and carbon reserves in two co-occurring Mediterranean oaks. Plant Biol 2009, 11:142–151.
19. Lagercrantz U. At the end of the day: a common molecular mechanism for photoperiod responses in plants? J Exp Bot 2009, 60:2501–2515.
20. Keller S., Soolanayakanahally R., Guy R. et al. Climate driven local adaptation of ecophysiology and phenology in balsam poplar, *Populus balsamifera* L. (*Salicaceae*). Am J Bot 2011, 98:99–108.
21. Saure M. Dormancy release in deciduous fruit trees. Horticultural Reviews. 1985, 7: 239-300.
22. Way D. Tree phenology responses to warming: spring forward, fall back? Tree Physiology. 2011, 31: 469–471.
23. Pellis A., Laureysens I., Ceulemans R. Genetic variation of the bud and leaf phenology of seventeen poplar clones in a short rotation coppice culture. Plant Biology. 2004, 6:38-46.
24. Zalesny R., Hall R., Zalesny J. et al. Biomass and genotype × environment interactions of *Populus* energy crops in the Midwestern United States. Bioenerg. Res. 2009, 2: 106.
25. Parmesan C., Yohe G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. Nature. 2003, 421: 37-42.
26. Cleland E. Shifting plant phenology in response to global change. Trends in Ecology & Evolution. 2007, 22: 357-365.
27. Kutsokon N., Rakhmetov D., Khudolieva L. et al. Growth characteristics and energy productivity of poplars and willows under short rotation planting for the first vegetation year. Biological systems. 2017, 9 (2): 238-246.
28. Starova N. Breeding of *Salicaceae*. Lesn. prom-st. 1980; 208.
29. Weih M. Genetic and environmental variation in spring and autumn phenology of biomass willows (*Salix* spp.): effects on shoot growth and nitrogen economy. Tree Physiol. 2009; 29(12):1479-90. doi: 10.1093/treephys/tp081.
30. Brelsford C., Robson T. Blue light advances bud burst in branches of three deciduous tree species under short-day conditions. Trees: Structure and Function. 2018, 32 (4): 1157–1164.
31. French-Constant R., Somers-Yeates R., Bennie J. et al. Light pollution is associated with earlier tree bud burst across the United Kingdom. Proc Biol Sci. 2016, 29: 283.
32. Ghelardini L., Berlin S., Weih M., Lagercrantz U., Gyllenstrand N., Rönnerberg-Wästljung A. Genetic architecture of spring and autumn phenology in *Salix*. BMC Plant Biol 14, 31 (2014) doi:10.1186/1471-2229-14-31

Надійшла до редколегії 07.10.19

Отримано виправлений варіант 08.11.19

Підписано до друку 08.11.19

Received in the editorial 07.10.19

Received revised version on 08.11.19

Signed in the press on 08.11.19

Y. Khoma, Ph. D. stud., N. Kutsokon, Ph. D.

Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

BUD BURST PHENOLOGY IN DIFFERENT POPLAR AND WILLOW CLONES

In the face of global climate changes, studies of bud burst and bud set phenology in trees are necessary to determine the duration of the growing season of plants, the optimal planting period, and seasonal works to achieve high productivity. The purpose of our study was to investigate bud burst phenology in different poplar and willow clones, what is important for predicting possible responses of woody plants to climate changes. Materials and methods: Bud burst phenology in poplar and willow was monitored both on the plants growing at experimental plot and on potted plants. Open-field plant research was conducted on a test site of fast-growing bioenergy trees in the M.M. Gryshko National Botanical Garden of NAS of Ukraine (Kyiv). Nine most productive poplar and willow clones were selected for the potted experiment. Throughout the growing season, the plants were kept outdoors, and after the seasonal fall of the leaves, the plants were transferred to an unheated storage room with a limited light regime. During spring, bud burst phenology was screened weekly through 45 days according to the 6-scores scale. The studies showed that the poplar plants grown under laboratory conditions demonstrated faster rates of bud burst compared to the willows, while the plants at the experimental plot, on the contrary, shown faster bud burst in the willows comparing to poplar clones. Such effects may be caused by the restricted light regime at the laboratory space what probably had stronger impact on the bud burst in willows, and in the case of open-field plants also by other random environmental factors. In potted conditions, willows demonstrated a tendency for faster flushing of lateral buds, while most poplar clones showed faster apical bud growth under the same conditions.

Keywords: poplar (*Populus*), willow (*Salix*), bud burst phenology, global climate changes.

Ю. Хома, асп., Н. Куцоконь, канд. биол. наук

Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины, Киев, Украина

ФЕНОЛОГИЯ РАСКРЫТИЯ ПОЧЕК У РАЗЛИЧНЫХ КЛОНОВ ТОПОЛЕЙ И ИВ

Быстрорастущие деревья тополь и ива являются ценными энергетическими растениями. В условиях глобальных изменений климата исследования фенологии раскрытия и закрытия почек у деревьев необходимы для определения продолжительности вегетационного сезона растений, оптимального периода посадки и проведения сезонных работ для достижения высокой продуктивности. Цель работы – изучение фенологии раскрытия почек у различных клонов тополя и ивы, что важно для предсказания возможных реакций древесных растений на климатические изменения. Материалы и методы: Наблюдения за фенологией раскрытия почек у тополя и ивы проводили на растениях, растущих как в открытой, так и в закрытой почве. Исследование растений в открытой почве проводили на опытном участке быстрорастущих биоэнергетических деревьев в НБС им. Н.Н.Гришко НАН Украины. Для исследования в закрытой почве отбирали черенки 9-ти наиболее продуктивных клонов, которые высаживали в горшки. В течение всего вегетационного сезона растения содержали на открытом воздухе, а после наступления сезонного листопада их переносили в неотапливаемое помещение с ограниченным световым режимом. Весной, после выхода из состояния покоя, еженедельно в течение 45 суток анализировали фенологию раскрытия почек по шестибальной шкале. Результаты исследований показали, что у растений тополя, выращенных в лабораторных условиях, наблюдали более быстрые темпы раскрытия почек по сравнению с ивами, в то время как у растений на опытном участке тополя раскрылись быстрее, чем у тополя. Такое влияние может быть обусловлено ограничением светового режима в помещении, который, очевидно, сильнее влияет на раскрытие почек у ивы, а также наличием неучтенных факторов в условиях открытой почвы. В условиях закрытой почвы у ивы наблюдалась тенденция к более быстрому распусканию боковых почек, а у тополя в аналогичных условиях большинство клонов показали быстрый рост апикальных почек.

Ключевые слова: тополь (*Populus*), ива (*Salix*), фенология раскрытия почек, глобальные изменения климата.