



<https://doi.org/10.15407/ukrbotj79.04.254>

RESEARCH ARTICLE

Вплив праймування гібереловою кислотою на проростання жолудів та ріст рослин *Quercus robur* і *Q. rubra* (Fagaceae)

Ірина В. КОСАКІВСЬКА , Леся В. ВОЙТЕНКО* , Валентина А. ВАСЮК , Микола М. ЩЕРБАТЮК 

Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного, Національна академія наук України, вул. Терещенківська 2, Київ 01601, Україна

Abstract. The effect of pre-sowing priming with gibberellic acid (GA₃) solution (50 mg/L) on acorn germination and growth characteristics of 47-day-old plants of *Quercus robur* and *Q. rubra* was studied under laboratory conditions. The priming effect varied depending on the oak species and development phase of the plants. After priming, 86% of *Q. robur* acorns germinated that exceeded the control by 25%, while the number of sprouted acorns of *Q. rubra* was at the control level and amounted to 85%. The 47-day-old plants of *Q. robur* were divided into three groups: (1) sprouted acorns with cracked pericarp and main root; (2) seedlings with formed epicotyl and apical bud; (3) seedlings with unopened true leaves of juvenile type. The plants of *Q. rubra* were divided into two groups: (1) seedlings with formed epicotyl and apical bud; (2) seedlings with open true leaves. In plants of *Q. robur*, priming caused decrease of biomass in cotyledons, while no visible changes were found for those of *Q. rubra*. An increase in growth characteristics, fresh and dry biomass accumulation was noted for all *Q. robur* plants whereas thickening of shoots was observed only in seedlings of the second group. Instead, hormone treatment of acorns of *Q. rubra* led to inhibition of growth processes in plants of both groups. In general, priming with GA₃ solution enhanced germination of acorns and stimulated growth of *Q. robur* plants and, conversely, slowed the growth of *Q. rubra* plants. Exogenous GA₃ did not eliminate the syndrome of unfriendly seedlings of the studied oak species, but improved the viability of acorns and increased the number of seedlings/shoots.

Keywords: acorn, biometrics, germination, gibberellic acid, priming, *Quercus robur*, *Quercus rubra*, seedling

Ключові слова: *Quercus robur*, *Quercus rubra*, гіберелова кислота, жолуді, біометричні показники, праймування, проростки

Article history. Submitted 09 June 2022. Revised 11 August 2022. Published 30 August 2022

Citation. Kosakivska I.V., Vasyuk V.A., Voytenko L.V., Shcherbatiuk M.M. 2022. Effect of priming with gibberellic acid on acorn germination and growth of plants of *Quercus robur* and *Q. rubra* (Fagaceae). *Ukrainian Botanical Journal*, 79(4): 254–266. [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj79.04.254>

Affiliation. M.G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Science of Ukraine, 2 Tereshchenkivska Str., Kyiv 01601, Ukraine: I.V. Kosakivska, V.A. Vasyuk, L.V. Voytenko, M.M. Shcherbatiuk.

*Corresponding author e-mail: lesyavoytenko@gmail.com

Вступ

Quercus robur L. (дуб звичайний) належить до головних лісоутворюючих порід України. Це світлолюбна, вимоглива до якості ґрунтів рослина (Hrodzynskyi, 2001). Умови зростання *Q. robur* на півночі України близькі до оптимальних, тоді як на півдні та південному сході проходить екологічна межа ареалу. При зміні клімату в бік аридизації, збільшенні частоти та суворості посухи виникає

загроза збереженню цього виду (Rogovsky, 2006). Природне поновлення *Q. robur* досить ускладнене, тому в різних регіонах спостерігається деградація дібров та зменшення їхньої площі (Didenko, 2008). У паркових біоценозах часткове самовідновлення відбувається на ділянках зі змінним лісовим фітоценотичним складом та зрідженим деревостаном (Patlay, 1984).

Quercus rubra L. (дуб червоний) походить зі сходу США та Канади. Завезений до Європи в 1691 р. та

© 2022 I.V. Kosakivska, V.A. Vasyuk, L.V. Voytenko, M.M. Shcherbatiuk. Published by the M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

на сьогодні поширений повсюдно за виключенням найхолоднішої частини Скандинавії. *Quercus rubra* – швидкозростаюча високоросла лісова порода, здатна адаптуватися до несприятливих екологічних умов, легко відновлюється насінням. Потенціал адаптації *Q. rubra* до прогнозованих змін клімату, особливо посухи та забруднення, вищий, ніж у *Q. robur*, чому зокрема сприяє значна щільність проростків на листках (Timbal, Dreyer, 1994; Brus, 2011; Nicolescu et al., 2020).

Для покращення проростання насіння використовують біологічно активні речовини та фітогормони (Trots, 2016; Yücedağ et al., 2019). Серед останніх особливе місце посідають гібереліни – найчисельніший клас фітогормонів, задіяних у життєвому циклі рослин різних систематичних груп і грибів (Sytnyk et al., 2003). Поміж більш як 130 форм цих гормонів фізіологічна активність притаманна лише окремим гібереловим кислотам (ГК₁, ГК₃, ГК₄, ГК₅, ГК₆ та ГК₇), інші ж є їхніми попередниками та неактивними формами (Sponsel, Hedden, 2010). До головних біологічних функцій гіберелінів належать регуляція процесів проростання насіння, координація поділу клітин і їхнього розтягу, детермінування статі, розвиток пилку і квіток, індукція цвітіння, формування насіння та плодів (Gantait et al., 2015; Kosakivska et al., 2019). Екзогенну обробку гіберелінами успішно використовують для покращення ростових характеристик сіянців різних деревних видів (Ameen, Al-Imam, 2007; Elo et al., 2009; Maku et al. 2014; Acar et al., 2017; Thangjam, Sahoo, 2017; Yuan al., 2019; Yücedağ et al., 2019).

Метою нашої роботи було порівняльне вивчення ефектів праймування гібереловою кислотою на проростання жолудів, ріст проростків і сіянців двох видів, які характеризуються різною посухостійкістю – *Q. robur* та *Q. rubra*.

Матеріали та методи

Жолуді *Q. robur* та *Q. rubra* були зібрані в лютому 2022 р. з-під чотирьох дерев кожного виду на території парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення "Феофанія" (м. Київ). Після природної стратифікації зафіксовано розтріскування оплодня жолудів і відзначено появу кореня. Сортування плодів проводилось методом флотації. Для цього жолуді занурювали у воду та перемішували декілька разів. Під час флотації

жолуді розподілялись за питомою вагою. Здорові й непошкоджені плоди, важчі за воду, занурювались на дно посудини, а пустотілі/пошкоджені піднімалися на поверхню води. Відкалібровані неушкоджені жолуді стерилізували в 2,5%-му розчині гіпохлориту натрію впродовж 10 хв, після чого промивали водою та висушували на фільтрувальному папері за кімнатної температури. Відібрані плоди по 60 штук замочували впродовж 24 год у воді (контроль) та розчині 50 мг/л гіберелової кислоти (ГК₃) і висаджували в ємності, заповнені 2 кг суміші ґрунту ("Ґрунт універсальний", м. Дніпро) та піску (1:1). Пророщували жолуді в контрольованих умовах за температури +20 °С, освітленні 190 мкмоль/(м²·с), фотоперіод складав 16/8 год (день/ніч), відносна вологість повітря – 65±5%. Вологість субстрату підтримували на рівні 60% від повної вологоємності. До появи проростків полив водою проводили кожні три доби з розрахунку 50 мл на ємність, а після появи сходів – щоденно.

Визначення ростових показників *Q. robur* та *Q. rubra* здійснювали на 47-му добу вегетації. Визначали висоту надземної частини та довжину коренів, масу органів, біометричні показники сім'ядолей та листків. Життєздатність насіння визначали за співвідношенням між пророслими та посадженими жолудями у відсотках.

Досліди проводили у трьох біологічних та трьох аналітичних повторях. Отримані результати обробляли статистично за допомогою комп'ютерної програми Statistica 6.0. Застосовували однофакторний дисперсійний аналіз, відмінності між середніми значеннями вважали значущими за $P \leq 0,05$ (Van Emden, 2008).

Результати та обговорення

Проростання жолудів

Поява поодиноких сходів *Q. robur* спостерігалась через 38 діб після висіву плодів, тоді як *Q. rubra* – через 27 діб. Масові сходи з'явилися відповідно на 40–45 та 30–34 добу. За умов праймування розчином ГК₃ частка пророслих жолудів дуба *Q. robur* на 47-му добу вегетації склала 86%, тоді як у непраймованих контрольних зразків – 61% жолудів. Натомість у *Q. rubra* кількість пророслих жолудів за праймування гормоном і в контролі була однаковою і склала 85% (рис. 1). У роботі Zavala-Chávez (2004) повідомлялось, що жолуді різних видів дубів здатні проростати за короткий час після опадання.

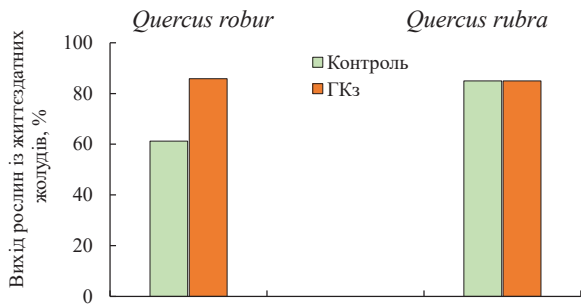


Рис. 1. Вплив праймування розчином гібереллової кислоти (50 мг/л) на проростання жолудів *Quercus robur* та *Q. rubra* (47-ма доба, %), n = 60

Fig. 1. Effect of pre-sowing priming with gibberellic acid solution (50 mg/l) on acorn germination of *Quercus robur* and *Q. rubra* (47th day, %), n = 60

Умови для проростання мають бути близькими до максимальної гідратаційної здатності жолудів, а за вмісту води в жолудях менше 25–30% останні втрачають життєздатність.

Відомості про вплив гіберелінів на проростання насіння та ріст сіянців деревних видів носять фрагментарний характер. Показано, що праймування насіння екзогенною ГК₃ до холодової стратифікації (ХС) більш ефективно для схожості граба звичайного (*Carpinus betulus* L.), ніж граба східного (*C. orientalis* Mill.). У *C. betulus* за використання ГК₃ відпала потреба у теплової стратифікації (ТС) і скоротилась тривалість ХС, що призвело до зростання відсотка схожості. У *C. orientalis* обробка ГК₃ прискорила на два-три місяці схожість насіння після ХС, проте відсоток схожості був значно меншим, ніж у насіння, підданого ХС впродовж чотирьох місяців. В обох видів після обробки ГК₃ відсоток схожості був на 70% вищим, та за тривалішої ХС скорочувався час проростання (Pirinis et al., 2012). Відмічено, що екзогенна ГК₃ покращує схожість насіння скумпії звичайної (*Cotinus coggygria* Scop.) Обробка ГК₃ нестратифікованого, скарифікованого сірчаною кислотою насіння, значно покращила схожість, тоді як у стратифікованого не спостерігалось значних відмінностей у відсотках схожості між обробленим і необробленим насінням. Показано, що концентрація ГК₃ не впливає на проростання, а в насінні, скарифікованому кислотою, застосування ГК₃ не змінило періоду ХС, необхідного для виходу зі стану спокою (Pirinis et al., 2014).

Наші дослідження показали, що після природньої стратифікації праймування розчином гібереллової

кислоти позитивно вплинуло на проростання жолудів *Q. robur*, натомість не вплинуло на *Q. rubra*.

На 47-му добу вегетації, враховуючи морфологічні характеристики, ми розділили рослини *Q. robur* на три групи. До першої були віднесені пророслі жолуді з розтріснутим оплоднем і головним коренем; до другої – рослини з розвиненим епикотилем з верхівковою брунькою (проростки); до третьої – сіянці з нерозкритими справжніми листками ювенільного типу (сіянци) (рис. 2).

У *Q. rubra* на 47-му добу вегетації ми виділили дві групи рослин: до першої були віднесені проростки з рослини з розвиненим епикотилем з верхівковою брунькою (проростки); до другої – рослини зі справжніми розкритими листками (рис. 3).

Праймування жолудів *Q. robur* розчином ГК₃ індукувало збільшення числа рослин другої групи у півтора раза. Натомість кількість рослин першої та третьої груп зменшилась відповідно в 1,4 та 2,9 раза. Найбільша кількість контрольних рослин *Q. rubra* (50%) знаходилась у третій групі. Після праймування жолудів розчином ГК₃ їхнє число зросло ще на 5%, а рослин першої групи виявилось на 5% менше за контроль (табл. 1).

У дослідженні В.Г. Скляр (Sklyar, 2011) серед початкових етапів розвитку *Q. robur* були виділені фази сходів, проростків та ювенільних рослин. Але ці фази у порівнянні із нашими були дуже розтягнуті у часі. Наші дослідження охоплювали сходи/проростки та сіянці, які репрезентують перший, один із найуразливіших років життя, коли спостерігається масове відмирання рослин. Отже, на 47-му добу вегетації пророслі рослини дуба *Q. robur* та *Q. rubra* знаходились на стадіях проростків та сіянців. Обробка жолудів розчином ГК₃ індукувала посилення ростових процесів, що призвело до збільшення числа проростків *Q. robur*, а у *Q. rubra* – до незначного збільшення числа сіянців зі справжніми листками.

Біометрична характеристика сім'ядолей

Плоди *Q. robur* мали світло-коричневе забарвлення та довгасту форму. Їхня довжина варіювала від 3,00±0,15 до 3,50±0,18 см, діаметр – близько 1,50±0,08 см. Для садіння відбирали жолуді масою 6,14±0,31 г. Плоди *Q. rubra* мали коричневе з червонуватим відтінком забарвлення і округлу форму. Їхня довжина становила 2,8±0,14 см, діаметр 2,70±0,14 см. Для садіння відбирали жолуді масою 8,41±0,42 г.

Рис. 2. Рослини *Quercus robur* на 47-му добу вегетації за лабораторних умов, вирощені з непраймованих (контроль) жолудів: 1 – пророслі жолуді, 2 – проростки з розвиненим епікотилем та верхівковою брунькою, 3 – сіянці з ювенільними листками

Fig. 2. Plants of *Quercus robur* on the 47th day of vegetation in laboratory conditions, grown from non-primed (control) acorns: 1 – sprouted seeds, 2 – seedlings, 3 – plants with juvenile leaves



Рис. 3. Рослини *Quercus rubra* на 47-му добу вегетації за лабораторних умов, вирощені з непраймованих (контроль) жолудів: 1 – проростки з розвиненим епікотилем та верхівковою брунькою, 2 – сіянці зі справжніми листками, lsh – бічний пагінь

Fig. 3. Plants of *Quercus rubra* on the 47th day of vegetation in laboratory conditions, grown from non-primed (control) acorns: 1 – seedlings; 2 – plants with true leaves, lsh – lateral shoot



Таблиця 1. Розподіл рослин *Quercus robur* та *Q. rubra* по групах (47-ма доба вегетації за лабораторних умов, %) / Table 1. Distribution of plants of *Quercus robur* and *Q. rubra* by groups (47th day of vegetation under laboratory conditions, %)

Варіант досліджу	Пророслі жолуді, %	Проростки, %	Сіянци з ювенільними листками, %	Сіянци зі справжніми листками, %
<i>Quercus robur</i>				
Контроль	23,5	41,2	23,5	-
ГК ₃	16,3	61,4	8,2	-
<i>Quercus rubra</i>				
Контроль	-	35,0	-	50
ГК ₃	-	30,0	-	55

Після набухання та проростання жолудів *Q. robur* довжина сім'ядолей залишалась практично незмінною, тоді як маса праймованих у розчині ГК₃ зменшилась у пророслого насіння на 3,3%, у сходках – на 8,9%, у сіянцях – на 4,4%. Обробка ГК₃ також не вплинула на довжину сім'ядолей *Q. rubra*, тоді як маса сім'ядолей сіянців зі справжніми листками порівняно з проростками зменшилась на 6,8% (табл. 2).

У своїй статті Silvertown (1989) наголошує, що маса насіння є фундаментальною ознакою життєздатності, яка впливає на ріст і розвиток рослини. У висококонкурентних середовищах існування, таких як лісові підстилки, природний відбір надає перевагу деревам з більш важким насінням, оскільки це прискорює розвиток сіянців і підвищує їхню конкурентоспроможність щодо ґрунтових ресурсів (Silvertown, 1989; Bruun, Ten Brink, 2008; Yi, Wang, 2016). Більш важке насіння деревних видів дає стійкіші до посухи та поїдання тваринами сходи, що збільшує шанси на їхнє укорінення (Chacón et al., 1998; Gómez, 2004; Huerta-Paniagua, Rodríguez-Trejo, 2011). Вважають, що за негативних впливів

навколишнього середовища насіння, яке має більшу масу, краще розвивається за рахунок більших сім'ядольних резервів та адаптаційної спроможності (Fenner, Thompson, 2005). З'ясовано, що значний запас поживних речовин у сім'ядолях дуба на перших етапах онтогенезу забезпечує не лише проростання жолудів буквально з поверхні ґрунту, використовуючи вологу опадів, а й автономний ріст сіянців. Так, у перший рік розвитку спостерігається формування глибокої до 50–80 см кореневої системи та головного стебла заввишки 10–15 см (Patlay, 1984). Від ресурсів насіння залежить збільшення площі листків та інших органів проростків, які забезпечують автотрофне живлення (Wulf, 1986; Paz, Martínez-Ramos, 2003) і надходження поживних речовин (Schupp, 1995). Так, у дубів *Quercus rugosa* Née і *Q. laurina* Bonpl. початковий ріст пагонів не потребує фотосинтетичної активності, оскільки джерелом поживних речовин є сім'ядолі (Bonfil, 1998). Сім'ядолі та стрижневі корені сходів *Quercus crispula* Blume виконують роль накопичувальних органів, але з розвитком проростків їхні функції змінюються (Kabeya, Sakai, 2003).

Таблиця 2. Характеристика сім'ядолей *Quercus robur* та *Q. rubra*, вирощених з непраймованих (контроль) та праймованих 50 мг/л розчином ГК₃ жолудів (на 47-му добу вегетації за лабораторних умов) / Table 2. Characteristics of cotyledons of *Quercus robur* and *Q. rubra* grown from unprimed acorns (control) and acorns primed with 50 mg/l GA₃ solution (on the 47th day of vegetation under laboratory conditions)

Варіант досліджу	Пророслі жолуді		Проростки		Сіянци з ювенільними листками		Сіянци зі справжніми листками	
	Довжина, см	Сира маса, г	Довжина, см	Сира маса, г	Довжина, см	Сира маса, г	Довжина, см	Сира маса, г
<i>Quercus robur</i>								
Контроль	3,3±0,17	5,71±0,29	3,5±0,17	5,53±0,28	3,3±0,17	4,92±0,25	-	-
ГК ₃	3,4±0,17	5,52±0,28	3,6±0,18	5,04±0,25	3,4±0,17	4,73±0,24	-	-
<i>Quercus rubra</i>								
Контроль	-	-	2,5±0,13	7,16±0,36	-	-	2,5±0,13	6,64±0,33
ГК ₃	-	-	2,5±0,13	7,18±0,36	-	-	2,5±0,13	6,69±0,34

n = 10; x ± стандартна похибка (SE); n = 10; x ± standard error (SE)

Для червоних дубів *Q. affinis* Scheidw., *Q. castanea* Née, *Q. crassifolia* Humb. & Bonpl., *Q. eduardii* Trel., *Q. jonesii* Trel., *Q. mexicana* Humb. & Bonpl. та *Q. viminea* Trel. встановлений позитивний зв'язок між швидкістю проростання та масою жолудів. Гідратовані жолуді білих дубів *Q. laeta* Liebm., *Q. polymorpha* Schltld. & Cham. та *Q. potosina* Trel. важчі та проростають швидше, ніж жолуді червоних дубів. У всіх видів дубів схожість збільшується зі зростанням сирової маси жолудя. У межах виду ймовірність проростання збільшується за більшої маси жолудя, але такий зв'язок більш характерний для червоних дубів. У всіх видів дубів величина сирової маси проростків позитивно корелює із сухою біомасою жолудя, з якого він виріс, і не залежить від вмісту води. Припускають, що проростання жолудів білого дуба не так сильно залежить від сирової маси, як червоного дубу (Sánchez-Montes de Oca et al., 2018). Разом із тим повідомлялось, що маса жолудів *Q. germana* Schltld. & Cham., *Q. insignis* M.Martens & Galeotti, *Q. sartorii* Liebm. та *Q. xalapensis* Bonpl. не впливала на схожість та розвиток проростків (García-De La Cruz et al., 2016).

Встановлено, що гібереліни стимулюють продукування гідролітичних ензимів α -амілази, протеаз та β -глюконаз, які задіяні у розщепленні поживних речовин ендосперму, необхідних для росту зародка (Yamaguchi, 2008). При проростанні насіння до алейронового шару надходить лише гібереліновий сигнал, тоді як сам гормон не синтезується (Gubler et al., 1995). Ми показали, що після праймування жолудів розчином ГК₃ відбулось зменшення маси сім'ядолей всіх досліджуваних рослин *Q. robur*, що опосередковано засвідчило посилене використання запасних речовин та ініціювало ріст зародка. Натомість у *Q. rubra* видимих змін не виявлено.

Біометрична характеристика проростків і сіянців

Висота надземної частини 47-добових рослин всіх трьох груп рослин *Q. robur*, вирощених із праймованих ГК₃ жолудів, була відповідно на 9,8, 24 і 32% більша за контроль (рис. 4, А). Приріст сирової біомаси склав 16,7, 17,8 та 19,2% (рис. 4, В). Діаметр епикотило рослин другої групи сягав 6,20±0,31 мм, що перевищило контроль, і рослини третьої групи на 21%.

Після праймування жолудів розчином ГК₃ найбільше видовження кореня виявлено у проростків, довжина яких на 16,3% переважала показники контролю і склала

11,40±0,57 см (рис. 4, С). Найбільший приріст сирової біомаси головного кореня за дії ГК₃ відбувся також у проростків. Їхня біомаса перевищила контроль на 9,9% і склала 0,78±0,04 г. Натомість біомаса коренів рослин першої та третьої груп була вищою за контроль лише на 3% та 5,1% відповідно (рис. 4, D).

Особливістю *Q. rubra* є одночасне формування головного пагону та бічних пагонів (рис. 2). За обробки жолудів розчином ГК₃ кількість бічних пагонів у проростків (перша група) була в 1,2 раза, а у сіянців з справжніми листками у 2,5 раза більше, ніж у контрольних рослин (табл. 3)

У *Q. rubra*, на відміну від *Quercus robur*, за обробки жолудів розчином ГК₃ висота та сира біомаса головного пагону 47-добових рослин не досягли контрольних показників. У рослин першої та другої груп висота пагонів була на 14,3 та 5,1% меншою, натомість довжина бічних пагонів рослин другої групи в 1,1 раза перевищила контрольні показники і склала 4,70±0,24 см. За обробки жолудів розчином ГК₃ накопичення сирової біомаси у надземній частині рослин першої та другої груп було відповідно в 1,6 та 1,5 раза менше за контроль (рис. 5, А, В).

Обробка жолудів *Q. rubra* розчином ГК₃ пригнічувала ріст головного кореня, довжина якого у проростках та сіянцях із справжніми листками (перша та друга групи) не досягла показників контролю відповідно на 20,6 та 24,6%. Біомаса головного кореня проростків та сіянців за обробки ГК₃ сягала відповідно 1,35±0,07 та 1,75±0,09 г, що було на 30 та 18% менше за контроль (рис. 5, С, D).

Накопичення сухої речовини у коренях проростків обох видів дубів у всіх варіантах дослідження відбувалось активніше, ніж у пагонах. Натомість оводненість пагонів була вищою, ніж коренів. У надземній частині і коренях 47-добових проростків *Q. robur* маса сухої речовини за праймування жолудів розчином ГК₃ зроста відповідно на 76,7 та 5,5% (або у 1,877 та 1,106 раза), тоді як у *Q. rubra* зменшилась на 20,9 та 15,7% (або у 1,21 та 1,16 раза) (табл. 4). На прикладі *Mansonia altissima* (A.Chev.) A.Chev. було показано, що збільшення маси сухої речовини пагонів, коренів і листків після праймування насіння розчином ГК₃ (0,005 та 0,02 г/л) сприяло прискоренню переходу до репродуктивної фази розвитку (Maku et al., 2014).

Культурні насадження *Q. robur* створюють двома шляхами – посадка сіянців і посів жолудів. Перший є більш ефективним, оскільки сіянці мають сформовані надземну частину і кореневу систему стандартних розмірів. У перші роки життя сіянці

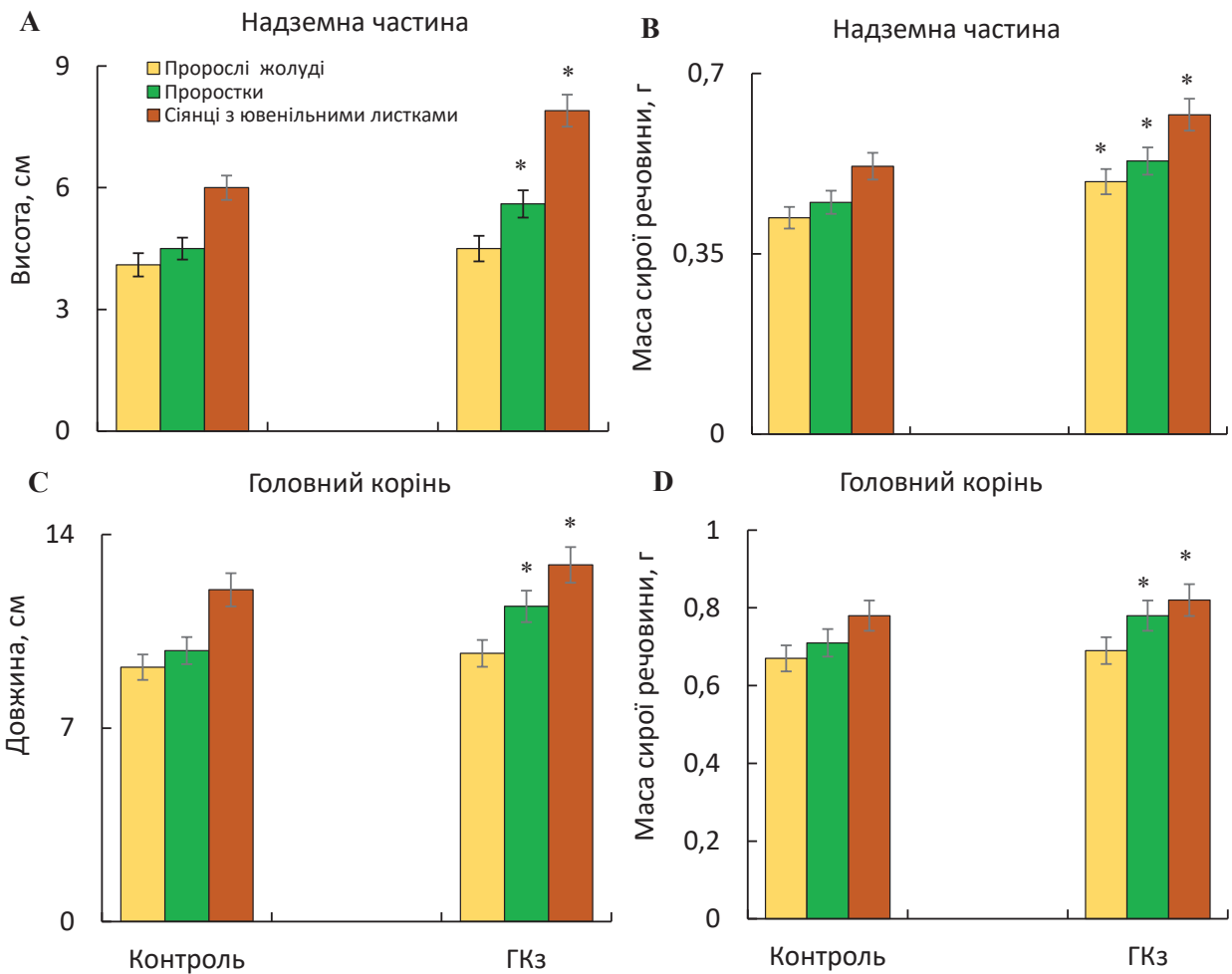


Рис. 4. Характеристики 47-добових рослин *Quercus robur*, вирощених з непраймованих (контроль) та праймованих розчином ГК₃ (50 мг/л) жолудів. А, В: висота та біомаса надземної частини; С, D: довжина та біомаса коренів. *Достовірна відмінність при $P \leq 0,05$ порівняно з контролем; представлені дані є середніми значеннями \pm SE, n = 10

Fig. 4. Characteristics of 47-day-old plants of *Quercus robur* grown from non-primed (control) and primed with GA₃ solution (50 mg / L) acorns. A, B: height and fresh weight of aboveground part; C, D: length and fresh weight of roots. *Significant difference at $P \leq 0.05$ vs. control; data are the mean \pm SE, n = 10

Таблиця 3. Вплив праймування жолудів розчином ГК₃ (50 мг/л) на формування бічних пагонів *Quercus rubra*, % рослин з бічними пагонами

Table 3. The effect of priming of acorns with a solution of GA₃ (50 mg/l) on the formation of lateral shoots of *Quercus rubra*, % of plants with lateral shoots

Група рослин	Контроль, %	ГК ₃ , %
Проростки	60	72,7
Сіянци зі справжніми листками	20	50

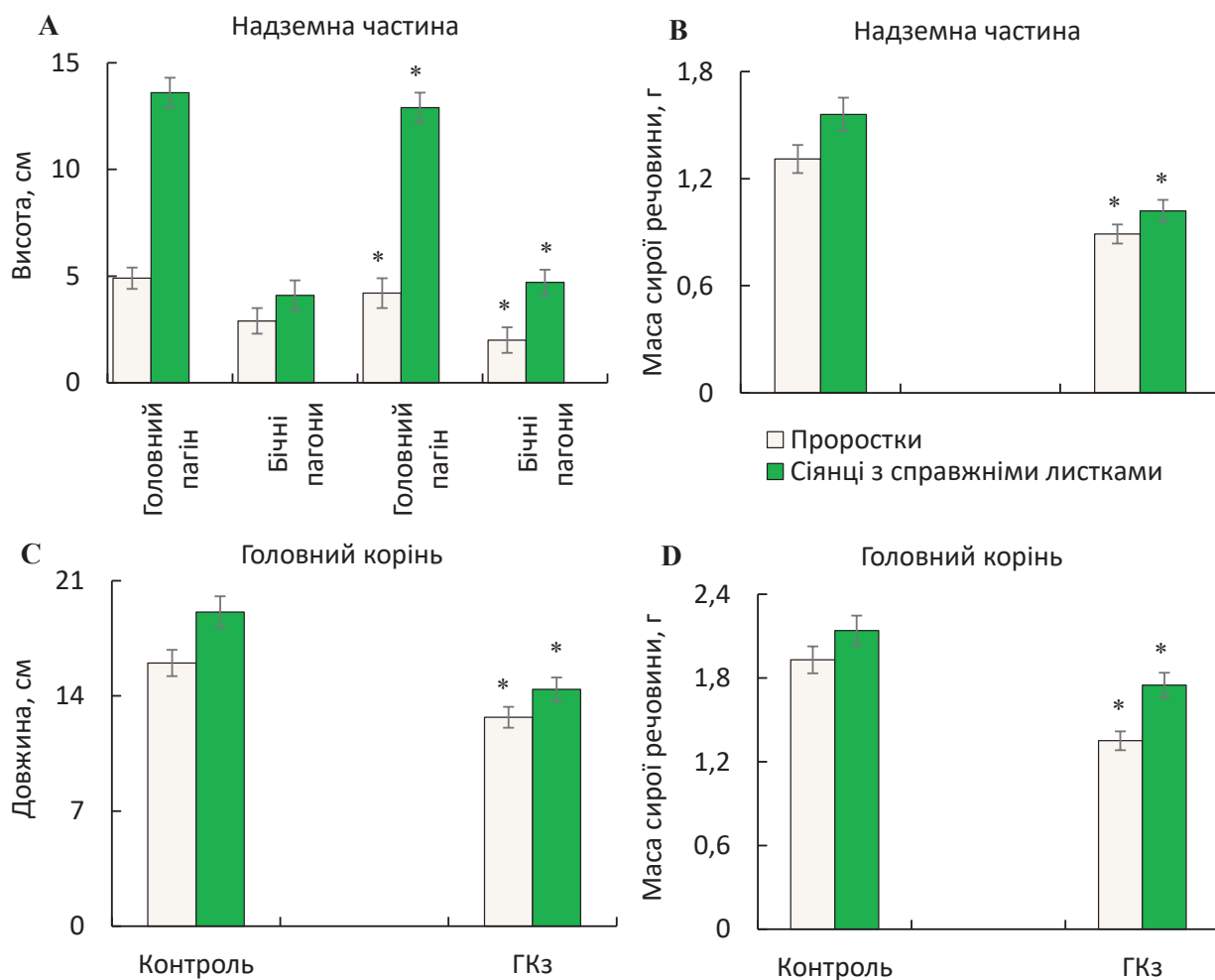


Рис. 5. Характеристики 47-добових рослин *Quercus robur*, вирощених з непраймованих (контроль) та праймованих розчином ГК₃ (50 мг/л) жолудів. А, В: висота та сира маса надземної частини; С, D: довжина та сира маса коренів. *Достовірна відмінність при $P \leq 0,05$ порівняно з контролем; представлені дані є середніми значеннями \pm SE, $n = 10$

Fig. 5. Characteristics of 47-day-old plants of *Quercus robur* grown from non-primed (control) and primed with GA₃ solution (50 mg/L) acorns. A, B: height and fresh weight of aboveground part; C, D: length and fresh weight of roots. *Significant difference at $P \leq 0.05$ vs. control; data are the mean \pm SE, $n = 10$

успішно конкурують з трав'яною рослинністю за поживні речовини (Zhukov, 1950; Houchuk, 1998). Характер росту та розвитку однорічних сіянців *Q. robur* залежить від термінів посіву жолудів. Сіянці, вирощені з жолудів осіннього посіву, характеризуються слабкішим лінійним та радіальним приростом. За весняного посіву спостерігається прискорений лінійний і радіальний ріст сіянців, формується потужніша коренева система (Avtonomov, 2014). Агрохімічні властивості субстратів суттєво не впливають на біометричні показники, кількість та розмір листків сіянців *Q. robur* (Romanov et al., Український ботанічний журнал, 2022, 79(4)

2017). Для проростків *Q. robur* встановлений досить тісний кореляційний зв'язок (при значенні коефіцієнта кореляції 0,60–0,76) між величинами більшості статичних метричних показників та масою жолудя. Найбільш суттєвою виявилась залежність між масою жолудів та загальною масою проростків (Sklyar, 2011).

Для покращення проростання насінневого матеріалу використовують різні регулятори росту. Так, передпосівне праймування жолудів *Q. robur* водним розчином полігексаметиленгуанідин-гідрохлориду в концентрації 0,0001–0,5% індукувало

Таблиця 4. Вплив праймування жолудів розчинами GA_3 (50 мг/л) на вміст сухої речовини (мг) і води (%) у пагонах та коренях 47-добових рослин *Quercus robur* та *Q. rubra*
 Table. 4. The effect of priming of acorns with GA_3 solutions (50 mg/l) on the content of dry matter (mg) and water (%) in shoots and roots of 47-day-old plants of *Quercus robur* and *Q. rubra*

Біометричні характеристики	Контроль		GA_3	
	Надземна частина	Корені	Надземна частина	Корені
<i>Quercus robur</i>				
Маса сухої речовини, мг	60,0±3,1	162,0±8,1	106,0±5,3*	171,6±8,6
Вміст води, %	86,6±4,3	75,8±3,8	80,8±4,1	78,1±3,9
<i>Quercus rubra</i>				
Маса сухої речовини, мг	91,0±4,6	198,0±9,9	72,0±3,6*	167,0±8,4*
Вміст води, %	81,2±4,1	73,8±3,7	84,8±4,2	80,4±4,1

*Достовірна відмінність при $P \leq 0,05$ порівняно з контролем; представлені дані є середніми значеннями $\pm SE$, $n = 10$

*Significant difference at $P \leq 0.05$ vs. control; data are the mean $\pm SE$, $n = 10$

збільшення висоти пагону на 11–45%, загальної кількості листків у 3,7–4,2 раза та загальної площі листової поверхні в 3,1–3,9 раза (Fylyonyk et al., 2007). Передпосівне замочування жолудів *Q. robur* в розчинах препаратів Енерген (розчин на основі калієвих солей гумінових кислот), Нв-101 (екстракт, отриманий із сумішей витяжки рослинних високоенергетичних сполук з рослин *Cryptomeria japonica* (Tunb. ex L.f.) D.Don, *Cupressus* L. sp., *Achillea* L. sp., *Pinus* L. sp.) та Альбіт (комплексний препарат із властивостями регулятора росту та фунгіциду) сприяли зростанню темпів лінійного росту сіяньців в середньому на 16,9–38,1% та їхнього діаметру в 1,3–1,7 раза. Препарат Елін-екстра (0,025 г/л розчин епібрасиноліду в спирті та полі- β -гідроксимаєляної кислоти з ґрунтових бактерій *Bacillus megaterium* та *Pseudomonas aureofaciens*, терпенової кислоти хвойного екстракту та збалансованого набору макро- і мікроелементів) дозволив отримати 97,1% стандартних сіяньців вже на кінець першого року (Trots, 2016). Повідомлялось, що екзогенні фітогормони впливають на проростання насіння та ріст сіяньців африканського ріжкового дерева (Sale, 2016), покращують ростові характеристики *Quercus frainetto* Ten. (Yücedağ, Bilir, 2019), сприяють перериванню спокою та активують ріст проростків *Pistacia khinjuk* Stocks (Ameen, Al-Imam, 2007; Acar et al., 2017), посилюють ріст проростків *Parkia timoriana* (DC.) Merr. (Thangjam, Sahoo, 2017), проростання насіння та ріст сходів рослин *Mansonia altissima* (Maku et al., 2014).

Фітогормони залучені в індукцію утворення деревини *Populus simonii* Carrière \times *P. nigra* Mill. (Yuan et al., 2019), регуляцію цвітіння та росту плодів *Prunus dulcis* (Mill.) D.A.Webb (*P. amygdalus* Batsch) (Koukouroukou-Petridou, 1996), росту

та утворення камбію проростками *Azadirachta indica* A.Juss. (Elo et al., 2009). Досить детально вивчено функцію гіберелінів в активації так званих "початкових ефектів" проростання та стимуляції лінійного росту органів і поверхні листків трав'яних рослин (Finkelstein et al., 2008). В той же час участь екзогенних гіберелінів у регуляції ростових процесів деревних видів залишається маловивченою. Повідомлялось, що після обробки жолудів *Q. frainetto* розчинами GA_3 та GA_4 (300 ppm) збільшується висота проростків і діаметр кореневої шийки, однак не змінюється сира та суха маса стебла та кореня (Yücedağ, Bilir, 2019). Подібні результати після обробки розчином GA_3 (500 ppm, 24 год) отримані на *Pistacia khinjuk* (Acar et al., 2017). Замочування насіння *Pistacia vera* L. у 200 мг/л GA_3 впродовж 12 год сприяло збільшенню висоти та діаметру сходів, тоді як відсоток пророслого насіння, довжина міжвузлів, суха маса пагону та кореня були значно вищими після подовження часу замочування впродовж 24 год (Ameen, Al-Imam, 2007). Максимальні ефекти на ростові показники проростків *Parkia timoriana* були отримані за обробки GA_3 у концентрації 500 ppm впродовж 12 та 24 год. Виявлена позитивна кореляція між сирою та сухою біомасою коренів та зменшення діаметру кореневої шийки (Thangjam, Sahoo, 2017). В *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden та *Pinus elliottii* Engelm. діаметр кореневої шийки був тісно пов'язаний з усіма ростовими показниками (Binotto et al., 2010). Застосування GA_3 у концентрації 0,005–0,03 г/мл не давало позитивних результатів під час проростання насіння *Tetrapleura tetraptera* (Schumacher & Thonn.) Thaub. (Maku et al., 2014). Обробка екзогенною GA_3 (100 мг/л) *Populus simonii* \times *P. nigra* індукувала збільшення діаметру стебла та накопичення целюлози (Zhao et al., 2019).

Таблиця 5. Характеристика листків 47-добових сіянців *Quercus robur* та *Q. rubra*, вирощених з непраймованих (контроль) та праймованих розчинами ГК₃ (50 мг/л) жолудів

Table 5. Morpho-phenological characteristics of leaves of 47-day-old seedlings of *Quercus robur* and *Q. rubra* grown from unprimed (control) and primed with GA₃ solutions (50 mg/l) acorns

Біометричні характеристики	Контроль		ГК ₃		Контроль	ГК ₃
	Ювенільні листки				Справжні розкриті листки	
	<i>Q. robur</i>	<i>Q. rubra</i>	<i>Q. robur</i>	<i>Q. rubra</i>	<i>Q. rubra</i>	
Кількість, од.	4(5)	4(6)	5(6)	5(6)	5(6)	5(7)
Довжина, мм (від верхнього до нижнього)	5,0±0,3 22,0±1,1	8,0±0,4 36,0±1,8	8,0±0,4 24,0±1,2	11,0±0,7 45,0±2,3	7,0±0,4 95,0±4,9	16,0±0,8 73,0±3,7
Маса, мг	60,0±3,2	180,0±6,1	70,0±3,5	260,0±13,2*	610,0±30,7	570,0±28,5*
Площа одного листка, мм ² (нумерація від кореня)						
7						186,0±9,3
6		32,0±1,6		49,0±2,6	22,0±1,3	403,0±20,3
5	16,0±0,8	83,0±4,2	35,0±1,8	236,0±11,8	412,0±20,7	499,0±24,9
4	36,0±1,8	154,0±7,7	53,0±2,7	375,0±18,8	959,0±48,1	806,0±40,4
3	68,0±3,4	229,0±11,5	70,0±3,5	452,0±22,6	1519,0±76,0	1129,0±56,5
2	90,0±4,6	311,0±15,6	95,0±4,8	309,0±15,7	1905,0±95,3	1262,0±63,2
1	174,0±8,7	484,0±24,2	122,0±6,2	502,0±25,1	1372,0±68,7	1143,0±57,2
Загальна площа листків, мм ²	384,0±19,2	1292,0±64,6	406,0±20,3	1922,0±96,2*	6189,0±309,6	5427,0±27,3*

*Достовірна відмінність при $P \leq 0,05$ порівняно з контролем; представлені дані є середніми значеннями \pm SE, $n = 10$

*Significant difference at $P \leq 0.05$ vs. control; data are the mean \pm SE, $n = 10$

Встановлено взаємозв'язок між сигнальними шляхами індоліл-3-оцтової кислоти та гіберелінів при регулюванні процесу розвитку ксилеми (Yuan et al., 2019). Домінуючим фактором утворення камбію у деревних видів виступають ауксини, за присутності яких посилюється продукування ГК₃. Так, утворення камбію у проростків *Azadirachta indica* регулювали саме ауксини (Elo et al., 2009).

Ми визначили, що ефекти праймування жолудів розчином ГК₃ по-різному проявлялись на досліджених видах дубів і залежали від фази розвитку рослин. Так, гормон індукував збільшення ростових показників і накопичення сирової та сухої біомаси в усіх досліджених 47-добових рослин *Q. robur*. Потовщення ж пагонів відбулось лише у проростків другої групи. Натомість обробка гормоном жолудів *Q. rubra* призводила до пригнічення ростових процесів у рослин першої та другої груп.

Ростові характеристики листків

У частини 47-добових рослин *Q. robur* та *Q. rubra* на стеблах сформувались нерозкриті ювенільні листки. Справжні розкриті листки були лише у рослин другої групи дуба червоного. У всіх варіантах досліду біометричні показники ювенільних листків *Q. robur* були меншими, ніж *Q. rubra*. Праймування жолудів *Q. robur* розчином ГК₃ індукувало

збільшення маси і площі листків відповідно на 16,7 і 5,7%. У *Q. rubra* маса та площа листків за дії ГК₃ зросла відповідно на 44,4 та 48,8%. У сіянців *Q. rubra*, вирощених із праймованих ГК₃ жолудів, число листків зросло до 5–6/7одиноць. Маса та площа листків за дії ГК₃ були у 1,1 раза нижче за контроль (табл. 5).

Отже, праймування жолудів обох видів досліджуваних дубів розчином ГК₃ позитивно впливало на ріст ювенільних листків. Біометричні ж показники справжніх листків у *Q. rubra*, які розвивались з праймованих жолудів, не досягали показників контролю.

Висновки

Праймування розчином ГК₃ активує проростання жолудів і стимулює ріст 47-добових рослин *Q. robur* та уповільнює ріст рослин *Q. rubra*. Екзогенна ГК₃ не знімає синдром появи недружніх сходів у досліджуваних видів дубів, але покращує життєздатність насіння і сприяє збільшенню кількості сходів. У цілому, праймування жолудів розчином ГК₃ може бути використане для стимуляції проростання насіння *Q. robur*.

Подяки

Публікація містить результати досліджень, проведених у рамках проекту, що фінансується Національною академією наук України (Договір № 8-22 від 04.01.2022 р.) "Визначення структурно-функціональних та молекулярних ознак стійкості дуба звичайного (*Quercus robur* L.) до аридизації клімату України" (2022–2023 рр.).

ORCID

I.B. Косаківська: <https://orcid.org/0000-0002-2173-8341>
Л.В. Войтенко: <https://orcid.org/0000-0003-0380-0807>
В.А. Васюк: <https://orcid.org/0000-0003-1069-9698>
М.М. Щербатюк: <https://orcid.org/0000-0002-6453-228X>

Список посилань

- Acar I., Yaşar H., Ercişli S. 2017. Effects of dormancy-breaking treatments on seed germination and seedling growth of *Pistacia khinjuk* Stocks using as rootstock for pistachio trees. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 90: 191–196. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2017.090.024>
- Ameen N.M., Al-Imam A. 2007. Effect of soaking periods, gibberellic acid, and benzyladenine on pistachio seeds germination and subsequent seedling growth (*Pistacia vera* L.). *Mesopotamia Journal of Agriculture*, 35: 2–8. <http://dx.doi.org/10.33899/magrj.2007.26495>
- Avtonomov A.N. 2014. *Vestnyk ChHPU im. Y. Ya. Yakovleva*, 4(84): 52–56. [Автономов А.Н. 2014. Влияние сроков посева желудей дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) на биометрические показатели семян. *Вестник ЧГПУ им. И. Я. Яковлева*, 4(84): 52–56].
- Binotto A.F., Dal' Col Lúcio A., Lopes S.J. 2010. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. *Cerne Lavras*, 16(4): 457–464. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602010000400005>
- Bonfil C. 1998. The effects of seed size, cotyledon reserves, and herbivory on seedling survival and growth in *Quercus rugosa* and *Q. laurina* (Fagaceae). *American Journal of Botany*, 85(1): 79–87.
- Brus R. 2008. *Dendrologija za gozdarje (Dendrology for Foresters)*. 2nd ed. Ljubljana: Univerza Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 408 pp.
- Bruun H.H., Ten Brink D.-J. 2008. Recruitment advantage of large seeds is greater in shaded habitats. *Écoscience*, 15(4): 498–507. Available at: <http://www.jstor.org/stable/42902423>
- Chacón P., Bustamante R.O., Henríquez C.A. 1998. The effect of seed size on germination and seedling growth of *Cryptocarya alba* (Lauraceae) in Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 71(2): 189–197.
- Didenko M.M. 2008. *Bulletin of Kharkiv National Agrarian University named after V.V. Dokuchayev. Seria Soil science, agrochemistry, farming, forestry, ecology of soil*, 4: 112–114. [Діденко М.М. 2008. Особливості природного поновлення дубових лісів в умовах свіжої кленово-липової діброви. *Вісник ХНАУ імені В.В. Докучаєва. Серія Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів*, 4: 112–114].
- Elo A., Immanen J., Nieminen K., Helariutta Y. 2009. Stem cell function during plant vascular development. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 20(9): 1097–1106. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2009.09.009>
- Fenner M., Thompson K. 2005. *The ecology of seeds*. Cambridge: Cambridge University Press, 250 pp. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511614101>
- Finkelstein R., Reeves W., Ariizumi T., Steber C. 2008. Molecular aspects of seed dormancy. *Annual Review of Plant Biology*, 59: 387–415. <http://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092740>
- Fylonyk Y.A., Aprasyukhyn A.Y., Nykytyn M.M. 2007. *Stimulyator prorastaniya, rosta i razvitiya drevesnykh rasteniy i sposob stimulyatsiyi prorastaniya, rosta i razvitiya drevesnykh rasteniy*. Patent 2007115687/04. 26.04.2007. [Филоник И.А., Априасюхин А.И., Никитин М.М. 2007. *Стимулятор прорастания, роста и развития древесных растений и способ стимуляции прорастания, роста и развития древесных растений*. Патент 2007115687/04. 26.04.2007]. Available at: <https://patents.google.com/patent/RU2362303C2/ru>
- Gantait S., Sinniah U.R., Ali M.N., Sahu N.C. 2015. Gibberellins – a multifaceted hormone in plant growth regulatory network. *Current Protein & Peptide Science*, 16(5): 406–412. <http://doi.org/10.2174/1389203716666150330125439>
- García-De La Cruz Y., López-Barrera F., Ramos-Prado J.M. 2016. Germination and seedling emergence of four endangered oak species. *Madera Bosques*, 22(2): 77–87. <https://doi.org/10.21829/myb.2016.2221326>
- Gómez J.M. 2004. Bigger is not always better: conflicting selective pressures on seed size in *Quercus ilex*. *Evolution*, 58(1): 71–80. <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2004.tb01574.x>
- Gubler F., Kalla R., Roberts J.K., Jacobsen J.V. 1995. Gibberellin-regulated expression of a myb gene in barley aleurone cells: evidence for Myb transactivation of a high-pI alpha-amylase gene promoter. *The Plant cell*, 7(11): 1879–1891. <https://doi.org/10.1105/tpc.7.11.1879>
- Hoychuk A.F. 1998. *Hospodarski zakhody formuvannya vysokoproductyvnykh dubovykh nasadzhen*. Zhytomir: Polissya, 95 pp. [Гойчук А.Ф. 1998. *Господарські заходи формування високопродуктивних дубових насаджень*. Житомир: Полісся, 95 с.].
- Hrodzynskiy D.M., Shelyah-Sosonko Yu.R., Cherevchenko T.M., Yemelyanov I.H., Sobko V.H. 2001. *Problemy zberezheniya ta vidnovlennya bioriznomanitya v Ukraini*. Kyiv: Akadempriodyka,

- 105 pp. [Гродзинський Д.М., Шеляг-Сосонко Ю.Р., Черевченко Т.М., Ємельянов І.Г., Собко В.Г. 2001. *Проблеми збереження та відновлення біорізноманіття в Україні*. Київ: Академперіодика, 105 с.]
- Huerta-Paniagua R., Rodríguez-Trejo D. 2011. Efecto del tamaño de semilla y la temperatura en la germinación de *Quercus rugosa* Née. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(2): 179–187. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.08.053>
- Kabeya D., Sakai S. 2003. The role of roots and cotyledons as storage organs in early stages of establishment in *Quercus crispula*: a quantitative analysis of the nonstructural carbohydrate in cotyledons and roots. *Annals of Botany*, 92(4): 537–545. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg165>
- Kosakivska I.V., Voytenko L.V., Vasyuk V.A., Vedenychova N.P., Babenko L.M., Shcherbatyuk M.M. 2019. *Fiziologiya roslin i henetyka*, 51(3): 187–206. [Косаківська І.В., Войтенко Л.В., Васюк В.А., Веденичова Н.П., Бабенко Л.М., Щербатюк М.М. 2019. Фітогормональна регуляція проростання насіння. *Фізіологія рослин і генетика*, 51(3): 187–206. <http://www.frg.org.ua/uk/2019/187-206N3V51.htm>] <https://doi.org/10.15407/frg2019.03.187>
- Koukouroukou-Petridou M.A. 1996. Paclobutrazol affects growth of almond fruits and germination of almond seeds. *Plant Growth Regulation*, 20: 267–269.
- Maku J., Gbadamosi A.E., Fadoju O. 2014. Germination and seedling growth of *Mansonia altissima* (A.Chev.) A.Chev. in response to hormonal treatment. *International Journal of Agriculture and Forestry*, 4(4): 269–274.
- Nicolescu V.-N., Vor T., Mason W.L., Bastien J.-C., Brus R., Henin J.-M., Kupka I., Lavnyy V., Porta N.L., Mohren F. 2020. Ecology and management of northern red oak (*Quercus rubra* L. syn. *Q. borealis* F. Michx.) in Europe: a review. *International Journal of Forest Research*, 93(4): 481–494. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpy032>
- Patlay Y.N. 1984. *Seleksionno-ekologicheskie osnovy semenovodstva i vyrashchivaniya vysokoproduktivnykh kultur sosny obyknovvennoy, duba chereschatoho, yasnya obyknovvennoho v ravninnoy chasty Ukrainoskoy SSR*: Dr. Sci. Diss. Kharkov, 586 pp. (manuscript). [Патлай І.Н. 1984. Селекційно-екологічні основи семенівництва і вирощування високопродуктивних культур сосни обыкновенной, дуба черешчатого, ясеня обыкновенного в равнинной части Украинской ССР: Дис. ... д-ра с.-х. наук; спец. 06.03.01 "Лесные культуры, селекция, семеноводство и озеленение огородов". Харьков, 586 с. (рукопись)].
- Paz H., Martínez-Ramos M. 2003. Seed mass and seedling performance within eight species of *Psychotria* (*Rubiaceae*). *Ecology*, 84(2): 439–450. Available at: <http://www.jstor.org/stable/3107899>
- Pipinis E., Milios E., Kiamos N., Mavrokordopoulou O., Smiris P. 2012. Effects of stratification and pre-treatment with gibberellic acid on seed germination of two *Carpinus* species. *International Seed Testing Association*, 40(1): 21–31. <https://doi.org/10.15258/sst.2012.40.1.03>
- Pipinis E., Milios E., Tomazos N., Smiris P. 2014. Breaking dormancy and germination of *Cotinus coggygria* Scop. seeds by means of sulphuric acid scarification, cold stratification and gibberellic acid. *Silva Balcanica*, 15(1): 38–46. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/283856431>
- Rogovsky S.V. 2006. *Naukovy visnyk NLTU Ukrainy* (Lviv), 16.2: 41–47. [Роговський С.В. 2006. Внутрішньовидова мінливість та адапційна стратегія (*Quercus robur* L.) на прикладі дубових насаджень дендропарку "Олександрія". *Науковий вісник НЛТУ України: збірник науково-технічних праць* (Львів), 16.2: 41–47].
- Romanov E.M., Smyshlyaeva M.I., Krasnov V.G., Mukhortov D.I. 2017. Growing of one-year containerized seedlings of English oak (*Quercus robur* L.) with the use of various nutritious substrates. *Vestnik of Volga State University of Technology. Seria: Forest. Ecology. Nature Management*, 3(35): 26–36. <https://doi.org/10.15350/2306-2827.2017.3.26>
- Sale F.A. 2016. Effects of different growth hormones on seed germination and seedling growth of African Locust Bean (*Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth). *International Journal of Forestry and Horticulture*, 2(2): 14–20. <https://dx.doi.org/10.20431/2454-9487.0202002>
- Sánchez-Montes de Oca E.J., Badano E.I., Silva-Alvarado L.E., Flores J., Barragán-Torres F., Flores-Cano J.A. 2018. Acorn weight as determinant of germination in red and white oaks: evidences from a common-garden greenhouse experiment. *Annals of Forest Science*, 75: 12. <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0693-y>
- Schupp W.E. 1995. Seed-seedling conflicts, habitat choice, and patterns of plant recruitment. *American Journal of Botany*, 82(3): 399–409. <https://doi.org/10.2307/2445586>
- Silvertown J.W. 1989. The paradox of seed size and adaptation. *Trends in Ecology and Evolution*, 4: 24–26. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(89\)90013-X](https://doi.org/10.1016/0169-5347(89)90013-X)
- Sklyar V.H. 2011. *Bulletin of Zaporizhzhia National University. Biological Sciences*, 2: 119–125. [Скляр В.Г. 2011. Морфологічні ознаки проростків дуба звичайного в різних еколого-ценотичних умовах Новгород-Сіверського Полісся. *Вісник Запорізького національного університету. Біологічні науки*, 2: 119–125].
- Sponsel V., Hedden P. 2010. In: *Gibberellin Biosynthesis and Inactivation. Plant Hormones*. Ed. P.J. Davies. Dordrecht: Springer, pp. 63–94. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2686-7_4
- Sytnyk K.M., Musatenko L.I., Vasyuk V.A., Vedenychova N.P., Heneralova V.M., Martyn H.I., Nyesterova A.N. 2003. *Hormonalnyi kompleks roslin i hrybiv*. Kyiv, 186 pp. [Ситник К.М., Мусатенко Л.І., Васюк В.А., Веденичова Н.П., Генералова В.М., Мартин Г.І., Нестерова А.Н. 2003. *Гормональний комплекс рослин і грибів*. Київ, 186 с.]
- Thangjam U., Sahoo U.K. 2017. Effects of different pre-treatments and germination media on seed germination and seedling growth of *Parkia timoriana* (DC.) Merr. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 5(1): 98–105. <https://doi.org/10.18006/2017.5%281%29.098.105>

- Timbal J., Dreyer E. 1994. Water consumption and drought resistance. In: Timbal J., Kremer A., Le Goff N., Nepveu G. (eds). *Le chêne rouge d'Amérique*. INRA éditions, pp. 85–90.
- Trots V.B. 2016. *Ahrokhimiya i lesnoe khozyaystvo*, 5: 49–51. [Троць В.Б. 2016. Применение биологически активных веществ при выращивании дуба черешчатого. *Агрохимия и лесное хозяйство*, 5: 49–51].
- Van Emden H. 2008. *Statistics for terrified biologists*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 360 pp.
- Wulf R. 1986. Seed size variation in *Desmodium paniculatum* II. Effects on seedling growth and physiological performance. *Journal of Ecology*, 74(1): 99–114.
- Yamaguchi S. 2008. Gibberellin metabolism and its regulation. *Annual Review of Plant Biology*, 59: 225–251. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092804>
- Yi X., Wang Z. 2016. The importance of cotyledons for early-stage oak seedlings under different nutrient levels: a multi-species study. *Journal of Plant Growth Regulation*, 35(1): 183–189. <https://doi.org/10.1007/s00344-015-9516-7>
- Yuan H., Zhao L., Guo W., Yu Y., Tao L., Zhang L., Song X., Huang W., Cheng L., Chen J., Guan F., Wu G., Li H. 2019. Exogenous application of phytohormones promotes growth and regulates expression of wood formation-related genes in *Populus simonii* × *P. nigra*. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(3): 792. <https://doi.org/10.3390/ijms20030792>
- Yücedağ C., Bilir N. 2019. Phytohormone effect on seedling quality in *Hungarian oak*. *Forest Systems*, 28(2): 1–7. <https://doi.org/10.5424/fs/2019282-14604>
- Zavala-Chávez F. 2004. Desecación de bellotas y su relación con la viabilidad y germinación en nueve especies de encinos mexicanos. *CIENCIA ergo-sum*, 11(2): 177–185. Available at: <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/7555>
- Zhukov A.B. 1950. *Dubravyy SSSR*. Vol. 1. Moscow, Leningrad: Hoslesbumyzzdat, 352 pp. [Жуков А.Б. 1950. *Дубравы СССР*. Т. 1. Москва, Ленинград: Гослесбумиздат, 352 с.].
- Рекомендує до друку О.К. Золотарьова

Косаківська І.В., Войтенко Л.В., Васюк В.А., Щербатюк М.М. 2022. Вплив праймування гібереловою кислотою на проростання жолудів та ріст рослин *Quercus robur* і *Q. rubra* (Fagaceae). *Український ботанічний журнал*, 79(4): 254–266.

Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного Національної академії наук України, вул. Терещенківська 2, Київ 01601, Україна: І.В. Косаківська, Л.В. Войтенко, В.А. Васюк, М.М. Щербатюк.

Реферат. У лабораторних умовах досліджено вплив праймування розчином гіберелової кислоти (ГК₃, 50 мг/л) на проростання жолудів та ростові характеристики 47-добових рослин *Quercus robur* і *Q. rubra*. Ефекти праймування плодів розчином ГК₃ по-різному проявлялись на досліджених видах дубів і залежали від фази розвитку рослин. За праймування проросло 86% жолудів *Q. robur*, що перевищило контроль на 25%, тоді як у *Q. rubra* кількість пророслих жолудів знаходилась на рівні контролю і складала 85%. На 47-му добу вегетації серед рослин *Q. robur* були виділені три групи: перша – пророслі жолуді з розтріснутим оплоднем і головним коренем; друга – рослини з розвиненим епикотилем з верхівковою брунькою; третя – сіянці з нерозкритими справжніми листками ювенільного типу. У *Q. rubra* були виділені дві групи, до першої увійшли проростки з рослини з розвиненим епикотилем з верхівковою брунькою, до другої – рослини зі справжніми розкритими листками. Праймування призводило до зменшення маси сім'ядолей рослин *Q. robur*, тоді як у *Q. rubra* видимих змін виявлено не було. Відмічено збільшення ростових показників і накопичення сирої та сухої біомаси в усіх рослин *Q. robur*. Потовщення пагонів відбулось лише у проростків другої групи. Натомість обробка гормоном жолудів *Q. rubra* призводила до пригнічення ростових процесів у рослин обох груп. В цілому, праймування розчином ГК₃ активувало проростання жолудів і стимулювало ріст рослин *Q. robur* та уповільнювало ріст рослин *Q. rubra*. Екзогенна ГК₃ не знімала синдрому появи недружніх сходів у досліджуваних видів дубів, але покращувала життєздатність насіння і сприяла збільшенню кількості сходів/проростків.

Ключові слова: *Quercus robur*, *Quercus rubra*, гіберелова кислота, жолуді, біометричні показники, праймування, проростки