



<https://doi.org/10.15407/ukrbotj79.05.329>

RESEARCH ARTICLE

Вплив екзогенної обробки водним розчином сигнальної молекули-медіатора бактеріального походження N-гексаноїл-L-гомосеринлактону (C₆-ГГЛ) на проростання жолудів і ріст рослин *Quercus robur* і *Q. rubra* (Fagaceae)

Ірина В. КОСАКІВСЬКА , Валентина А. ВАСЮК , Леся В. ВОЙТЕНКО* , Микола М. ЩЕРБАТЮК ,
Лідія М. БАБЕНКО , Катерина О. РОМАНЕНКО 

Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, вул. Терещенківська 2, Київ 01601, Україна

Abstract. The effect of pre-sowing priming with N-hexanoyl-L-homoserine lactone (C₆-HSL) solution (300 mg/L) on acorn germination and morpho-phenological characteristics of *Quercus robur* and *Q. rubra* was studied under laboratory conditions. After priming, 93.4% of *Q. robur* acorns germinated that exceeded the control by 32.2%, while the number of sprouted acorns of *Q. rubra* increased within error limits by 5% more than the control and amounted to 90%. According to morphological characteristics, the 47-day-old plants of *Q. robur* were divided into the following groups: germinated acorns, sprouts and seedlings with juvenile leaves, whereas among the plants of *Q. rubra*, sprouts and seedlings with true leaves were selected. A group of plants with juvenile leaves was detected only in the samples primed with C₆-HSL. Priming induced differential changes in cotyledon biomass of both species and accelerated nutrient utilization by *Q. robur* seedlings. We observed a positive effect on the growth and biomass accumulation of *Q. robur* plants and a negative effect, except for plants of the third group, on those of *Q. rubra*. The dry weight of seedling roots of *Q. robur* and shoots of *Q. rubra* increased, respectively, by 103% and 153%. Priming of acorns with C₆-HSL solution induced an increase in number, length, biomass and total area of leaves. These changes were more pronounced in *Q. rubra* seedlings. Alterations in the root system architecture towards formation of numerous additional lateral roots were recorded for both species. Thus, priming with C₆-HSL solution activated acorn germination and stimulated growth of *Q. robur* plants and decelerated growth of plants of *Q. rubra*. Exogenous C₆-HSL did not eliminate the syndrome of unfriendly seedlings of both studied oak species, but improved the viability of acorns and increased the number of seedlings.

Keywords: acorns, biometric indicators, germination, N-hexanoyl-L-homoserine lactone, priming, *Quercus robur*, *Quercus rubra*, seedlings

Article history. Submitted 10 July 2022. Revised 30 September 2022. Published 31 October 2022

Citation. Kosakivska I.V., Vasyuk V.A., Voytenko L.V., Shcherbatiuk M.M., Babenko L.M., Romanenko K.O. 2022. Effects of exogenous bacterial quorum-sensing signal molecule/messenger N-hexanoyl-L-homoserine lactone (C₆-HSL) on acorn germination and plant growth of *Quercus robur* and *Q. rubra* (Fagaceae). *Ukrainian Botanical Journal*, 79(5): 329–338. [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj79.05.329>

Affiliation. M.G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, 2 Tereshchenkivska Str., Kyiv 01601, Ukraine

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

Вступ

Посилене антропогенне навантаження на біосферу стало причиною глобального погіршення екологічної ситуації у світі. Забруднення атмосфери механічними, хімічними та радіоактивними речовинами призвело до трансформації великих територій, деградації та руйнування ґрунтів, послаблення здатності їхнього природного відновлення. Однією з головних лісоутворюючих порід України є *Quercus robur* L. (дуб черешчатий) (Hrodzynskyi et al., 2001). Зміна клімату, зростання його континентальності, особливо у весняно-літній період, негативно впливають на репродуктивну здатність *Q. robur*, зменшують урожайність та погіршують посівну якість жолудів, що загрожує збереженню цього виду (Rogovsky, 2006). *Quercus rubra* L. (дуб червоний), завезений до Європи зі сходу Північної Америки, має вищу, ніж у *Q. robur*, адаптаційну спроможність та легко відновлюється (Nicolescu et al., 2018).

Ацилгомосеринлактони (АГЛ) – клас молекул медіаторів бактеріального походження, вони задіяні в дистанційній трансдукції сигналів між бактеріями – колонізаторами фітосфери та бактеріями і рослиною-господарем. Молекула АГЛ складається з п'ятичленного гідрофільного гомосеринлактонового кільця і приєднаного до нього амідним зв'язком варіабельного ацильного бічного ланцюга, довжина якого варіює від 4 до 8 атомів вуглецю (Babenko et al., 2021a). Показано, що праймування насінин та фоліарна обробка рослин розчинами АГЛ індукують посилення росту, підвищують вміст фотосинтетичних пігментів, регулюють зміни в балансі ендогенних фітогормонів, впливають на формування механізмів захисту, змінюють архітектуру кореневої системи, регулюють продихову провідність, відкладання калози тощо (Lareen et al., 2016; Moshynets et al., 2019; Kosakivska et al., 2020; Shrestha, Schikora, 2020; Gahoi et al., 2021; Babenko et al., 2022).

Метою роботи було дослідження впливу праймування розчином N-гексаноїл-L-гомосеринлактону (C₆-ГГЛ) на проростання жолудів і ріст рослин *Q. robur* та *Q. rubra* на ранніх етапах вегетації.

Матеріали та методи

Збір жолудів *Quercus robur* та *Q. rubra* проводили в лютому 2022 року 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 появу зародкового кореня. Для сортування жолудів використовували метод флотації. Відібрані жолуді стерилізували в 2,5%-му розчині гіпохлориду натрію впродовж 10 хв, промивали водою та висушували на фільтрувальному папері за кімнатної температури. Жолуді (по 60 шт.) замочували на 24 год у воді (контроль) та розчині C₆-ГГЛ (300 мг/л) і висаджували в посудини, заповнені 2 кг суміші ґрунту ("Ґрунт універсальний", м. Дніпро) та піску (1:1). Синтез молекул C₆-ГГЛ проводили за методом (Natelson, Natelson, 1989) з модифікаціями (Moshynets et al., 2019). Пророщували жолуді у контрольованих умовах за температури +20 °С, освітленні 190 мкмоль/(м² · с), фотоперіод складав 16/8 год. (день/ніч), відносна вологість повітря була 65 ± 5%. Вологість субстрату підтримували на рівні 60% від повної вологоємності. До появи проростків кожні три доби поливали водою з розрахунку 50 мл на ємкість, після появи сходів – щоденно (Kosakivska et al., 2022).

Фіксацію ростових показників (висота надземної частини та довжина коренів, маса органів, біометричні показники сім'ядолей та листків *Q. robur* та *Q. rubra* здійснювали на 47-му добу вегетації. Життєздатність визначали за співвідношенням між пророслими та посадженими жолудями у відсотках.

Досліди проводили у трьох біологічних і трьох аналітичних повторях. Отримані результати обробляли статистично за допомогою комп'ютерної програми Statistica 6.0. Застосовували однофакторний дисперсійний аналіз (one-way Anova), при цьому P ≤ 0,05 використовували як межу значущості (Van Emden, 2008). На рисунках і в таблицях виміри підсумовуються як середнє значення ± стандартна помилка (±SE).

Результати

Проростання жолудів

Поодинокі сходи *Q. robur* з'явилися на 38-му добу, а *Q. rubra* – на 27-му після висіву жолудів. Масові сходи фіксували на 40–45 та 30–34 доби, відповідно у досліджуваних видів. Після праймування розчином C₆-ГГЛ проросло 93,4% жолудів *Q. robur*, тоді як у контролі – 61,2%. Натомість, кількість пророслих жолудів *Q. rubra* після праймування C₆-ГГЛ зросла в

межах похибки на 5% порівняно з контролем і склала 90% (рис. 1). Отже, передпосівна обробка розчином C_6 -ГГЛ індукувала значне зростання кількості життєздатного насіння *Q. robur*.

За морфологічними характеристиками серед 47-добових рослин *Q. robur* ми виділили наступні групи: перша – пророслі жолуді з розтріснутим оплоднем і головним коренем, друга – проростки з розвиненим епікотилем та верхівковою брунькою, третя – сіянці з нерозкритими справжніми листками ювенільного типу. В свою чергу 47-добові рослини *Q. rubra* були розділені на такі групи: перша – проростки з розвиненим епікотилем та верхівковою брунькою, друга – сіянці з нерозкритими справжніми листками ювенільного типу, третя – сіянці зі справжніми розкритими листками. Група рослин з ювенільними листкам виявлена лише у праймованих C_6 -ГГЛ зразках (рис. 2).

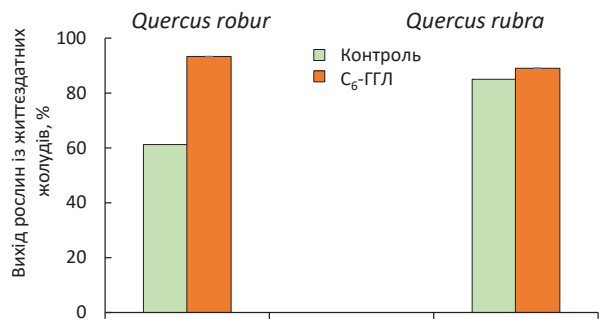


Рис. 1. Вплив праймування розчином N-гексаноїл-L-гомосеринлактону (C_6 -ГГЛ) (300 мг/л) на проростання жолудів *Quercus robur* та *Q. rubra* (47-ма доба, %), n = 60

Fig. 1. Effect of pre-sowing priming with N-hexanoyl-L-homoserine lactone (C_6 -HSL) solution (300 mg/L) on acorn germination of *Quercus robur* and *Q. rubra* (47th day, %), n = 60

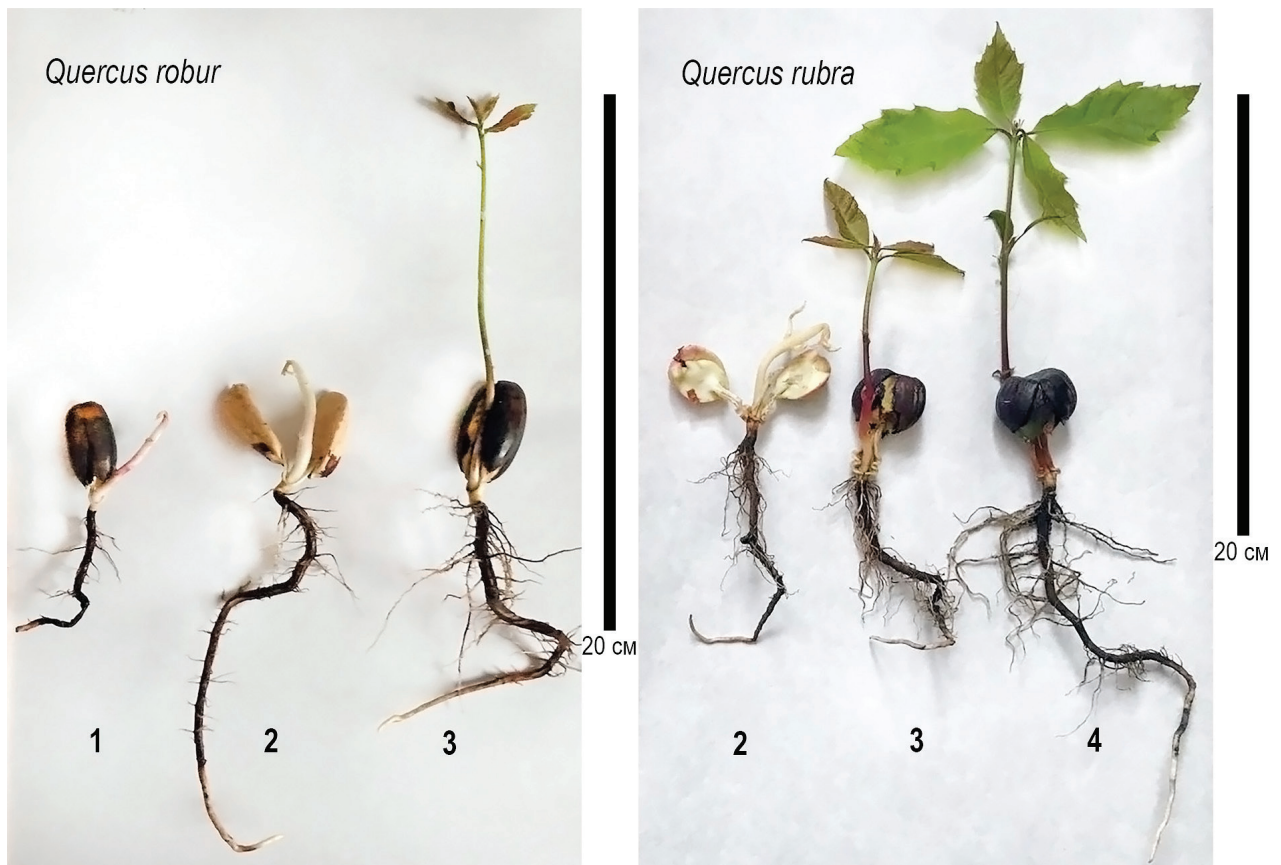


Рис. 2. Рослини *Quercus robur* та *Q. rubra* на 47-му добу вегетації за лабораторних умов, вирощені з праймованих розчином C_6 -ГГЛ (300 мг/л) жолудів: 1 – пророслі жолуді, 2 – проростки, 3 – сіянці з ювенільними листками, 4 – сіянці зі справжніми листками

Fig. 2. Plants of *Quercus robur* and *Q. rubra* on the 47th day of vegetation under laboratory conditions grown from acorns primed with C_6 -HSL solution (300 mg/L): 1 – sprouted seeds, 2 – seedlings, 3 – plants with juvenile leaves, 4 – plants with true leaves

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, %)

Група рослин	<i>Quercus robur</i>		<i>Quercus rubra</i>	
	Контроль	C ₆ -ГГЛ	Контроль	C ₆ -ГГЛ
	%			
Проросле насіння	23,5	13,3	-	-
Проростки	41,2	53,3	35,3	20,2
Сіянци з ювенільними листками	23,5	26,7	-	19,1
Сіянци зі справжніми листками	-	-	50,1	50,2

Таблиця 2. Характеристика сім'ядолей *Quercus robur* та *Q. rubra*, вирощених з непраймованих (контроль) та праймованих 300 мг/л розчином N-гексаноїл-L-гомосеринлактону (C₆-ГГЛ) жолудів (на 47-му добу вегетації за лабораторних умов)Table 2. Characteristics of cotyledons of *Quercus robur* and *Q. rubra* grown from non-primed acorns (control) and those primed with 300 mg/L solution of N-hexanoyl-L-homoserinlactone (C₆-HSL) (on the 47th day of vegetation under laboratory conditions)

Варіант досліду	Пророслі жолуді		Проростки		Сіянци з ювенільними листками		Сіянци з 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	-	
C ₆ -ГГЛ	3,1±0,16	5,93±0,29	3,4±0,17	5,28±0,26	3,3±0,16	4,26±0,21		
<i>Quercus rubra</i>								
Контроль	-		2,5±0,13	7,16±0,36	-		2,5±0,13	6,64±0,33
C ₆ -ГГЛ			2,5±0,13	7,49±0,37			2,5±0,13	7,24±0,36

Після праймування C₆-ГГЛ кількість пророслих жолудів *Q. robur* була меншою за контрольний показник у 1,8 раза, однак кількість проростків збільшилось у 1,3 раза, а сіянців з ювенільними листками знаходилось у межах контролю. Праймування жолудів спричинило зменшення кількості проростків *Q. rubra* у 1,8 раза, індукувало появу сіянців з ювенільними листками, а число сіянців зі справжніми листками було на рівні контролю (табл. 1). Отже, праймування жолудів розчином C₆-ГГЛ індукувало збільшення числа проростків *Q. robur* та сіянців з ювенільними листками *Q. rubra*.

Біометрична характеристика сім'ядолей

Після набухання та проростання праймованих розчином C₆-ГГЛ жолудів *Q. robur* довжина сім'ядолей практично не змінилась, тоді як сира маса (біомаса) у пророслих жолудів збільшилась на 3,9%, а у сходів/проростків та сіянців з ювенільними листками зменшилась відповідно на 4,5 та 13,4%. Праймування розчином C₆-ГГЛ жолудів *Q. rubra* індукувало збільшення біомаси сім'ядолей проростків на 4,6%, тоді як у сіянців зі справжніми листками цей показники був на рівні контролю.

Довжина сім'ядолей не змінювалась (табл. 2). Отже, праймування розчином C₆-ГГЛ прискорило використання поживних речовин проростками *Q. robur*.

Біометрична характеристика проростків і сіянців

Висота надземної частини 47-добових рослин *Q. robur*, вирощених з праймованих C₆-ГГЛ жолудів, перевищила контроль на 4,9% (перша група), 13% (друга група) та 78% (третья група). У праймованих рослин відмічена поява значної кількості бічних коренів. Видовження головного кореня на 37 і 37,8% виявлено у рослин першої та другої груп (рис. 3А). Приріст біомаси на 6,7 і 25,0% зафіксовано для надземної частини рослин другої та третьої груп. Натомість обробка C₆-ГГЛ не вплинула на накопичення біомаси надземної частини у пророслого насіння (перша група). Найбільший приріст біомаси (на 25,4%) головного кореня за праймування C₆-ГГЛ відбувся у проростків (друга група), тоді як біомаса коренів рослин першої та третьої груп перевищила контроль відповідно на 9 та 16,7% (рис. 3В).

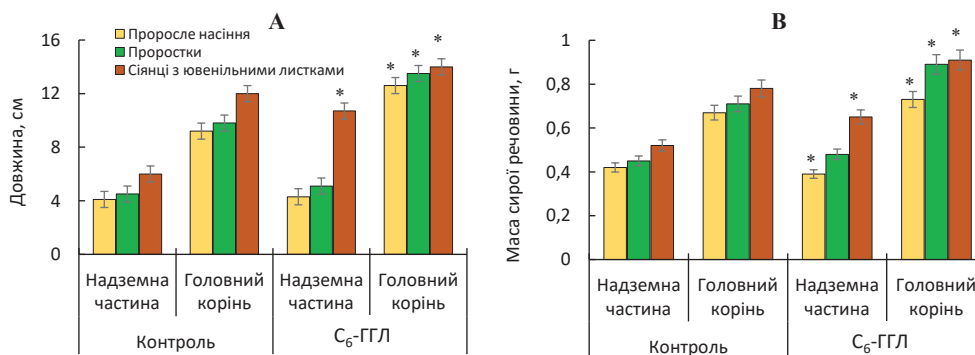


Рис. 3. Характеристика 47-добових рослин *Quercus robur*, вирощених з непраймованих (контроль) та праймованих розчином 300 мг/л N-гексаноїл-L-гомосеринлактону (C₆-ГГЛ) жолудів. А: висота надземної частини та довжина коренів; В: біомаса надземної частини та коренів

* – достовірна відмінність при P ≤ 0,05 порівняно з контролем; представлені дані є середніми значеннями ± SE, n = 10

Fig. 3. Characteristics of 47-day-old *Quercus robur* plants grown from non-primed acorns (control) and primed with 300 mg/L N-hexanoyl-L-homoserine lactone (C₆-HSL) solution. A: shoot height and root length; B: fresh weight of shoots and roots

* – significant difference at P ≤ 0.05 vs control; data are the mean ± SE, n = 10

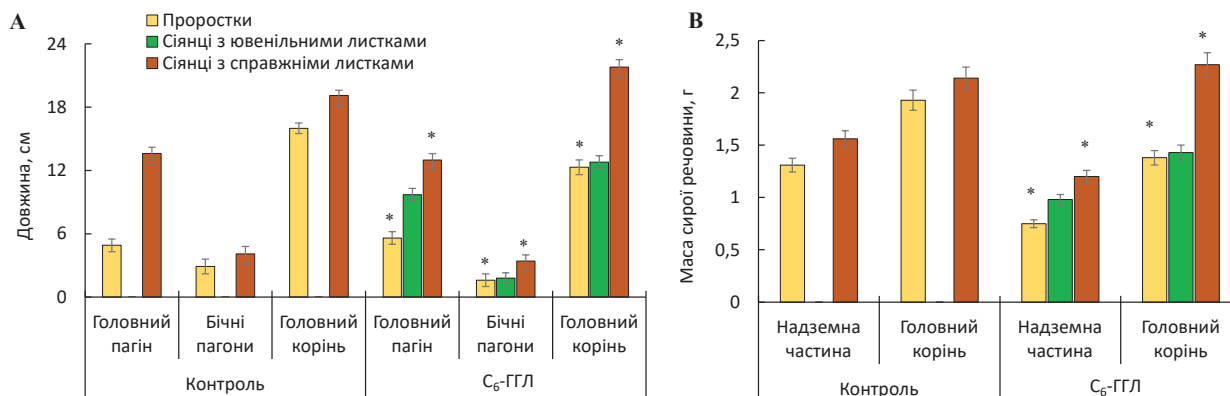


Рис. 4. Характеристика 47-добових рослин *Quercus rubra*, вирощених з непраймованих (контроль) та праймованих розчином 300 мг/л N-гексаноїл-L-гомосеринлактону (C₆-ГГЛ) жолудів. А: висота надземної частини та довжина головного кореня; В: біомаса надземної частини та коренів

* – достовірна відмінність при P ≤ 0,05 порівняно з контролем; представлені дані є середніми значеннями ± SE, n = 10

Fig. 4. Characteristics of 47-day-old plants of *Quercus rubra* grown from non-primed (control) and primed with 300 mg/L N-hexanoyl-L-homoserine lactone (C₆-HSL) solution. A: shoot height and main root length; B: fresh weight of shoots and roots

* – significant difference at P ≤ 0.05 vs. control; data are the mean ± SE, n = 10

Особливістю *Q. rubra* є одночасне формування головного та бічних пагонів. Найбільша кількість рослин з бічними пагонами (72,7%) зафіксована у проростків, оброблених C₆-ГГЛ, тоді як у контролі їхня кількість склала 60%. У рослин другої та третьої груп число бічних пагонів за праймування зменшилась на 30–10% і було вдвічі менше контролю. За праймування C₆-ГГЛ головний пагін проростків був на 14,3% вище, а у сянців зі справжніми листками на 4,4% нижче контрольного показника.

Праймування жолудів *Q. rubra* індувало зменшення довжини головного кореня у проростків на 23,1% та збільшення у сянців із листками на 12,6% (рис. 4А). На головному корені *Q. rubra* після праймування C₆-ГГЛ спостерігалось збільшення кількості бічних коренів. Після праймування біомаса пагонів рослин першої та третьої груп зменшилась відповідно на 42,7 і 23,1%. Біомаса коренів проростків (перша група) була меншою за контроль у 1,4 раза, а коренів рослин зі справжніми листками (третья група) – більшою в 1,1 раза (рис. 4В).

Таблиця 3. Вплив праймування жолудів розчином N-гексаноїл-L-гомосеринлактону (C₆-ГГЛ) (300 мг/л) на вміст сухої речовини (мг) і води (%) у пагонах та коренях 47-добових рослин *Quercus robur* та *Q. rubra*

Table 3. The effect of priming acorns with solution of N-hexanoyl-L-homoserinlactone (C₆-HSL) (300 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 показники	<i>Quercus robur</i>				<i>Quercus rubra</i>			
	Надземна частина		Корені		Надземна частина		Корені	
	Контроль	C ₆ -ГГЛ	Контроль	C ₆ -ГГЛ	Контроль	C ₆ -ГГЛ	Контроль	C ₆ -ГГЛ
Маса сухої речовини, мг	60±3	162±8*	111±6	225±11*	91±5	198±10*	68±3	172±9*
Вміст води, %	86,6	75,8	76,8	72,5	81,2	73,8	79,1	79,4

* – 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

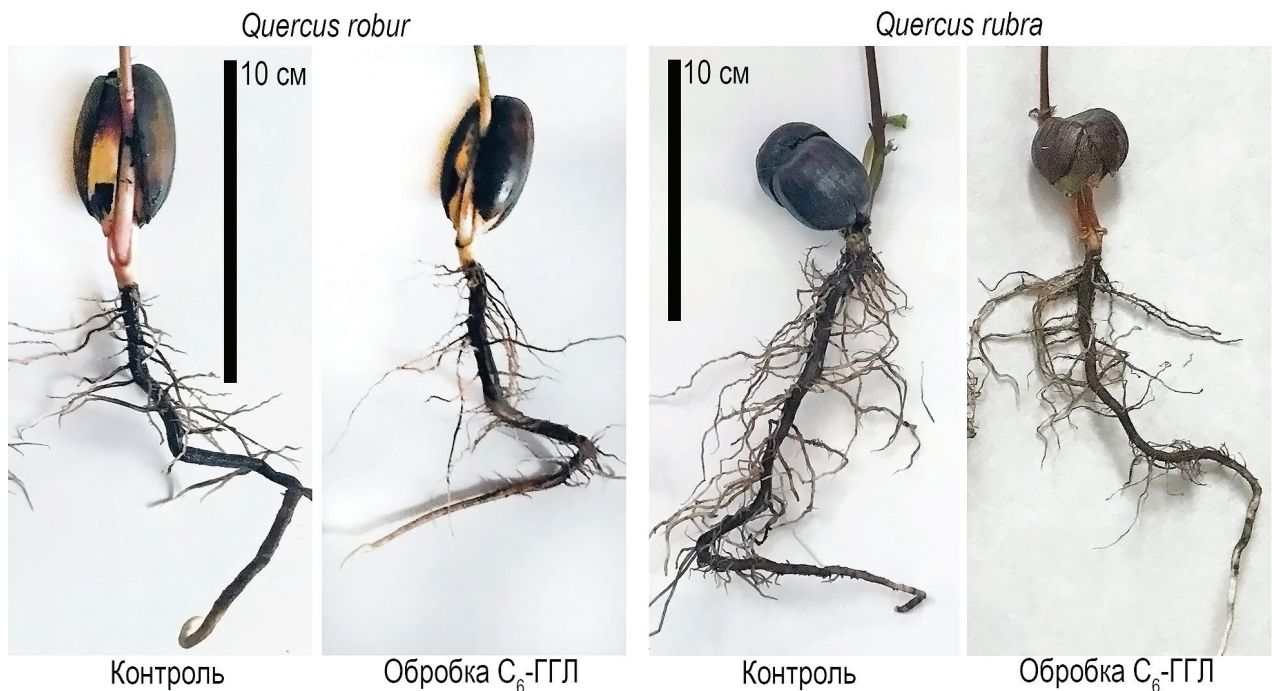


Рис. 5. Коренева системи 47-добових рослин *Quercus robur* та *Q. rubra* в контролі та за умов праймування жолудів розчином C₆-ГГЛ (300 мг/л)

Fig. 5. Root systems of 47-day-old plants of *Quercus robur* and *Q. rubra* in control and after priming of acorns with C₆-HSL solution (300 mg/L)

Накопичення сухої біомаси проростками *Q. robur* у всіх варіантах дослідження відбувалось активніше у коренях, тоді як у *Q. rubra* – в пагонах. Оводненість останніх була вищою, ніж у коренів. У надземній частині та коренях 47-добових проростків *Q. robur* вміст сухої речовини за праймування жолудів розчином C₆-ГГЛ зріс відповідно у 2,7 та 2,0 раза, тоді як у *Q. rubra* в 2,2 та 2,5 раза (табл. 3).

Таким чином, праймування розчином C₆-ГГЛ позитивно вплинуло на ріст та накопичення біомаси у рослин *Q. robur* і негативно, за виключенням третьої групи, у *Q. rubra*. Відбулись також зміни в архітектурі кореневої системи обох видів, що проявилось у формуванні додаткових бічних коренів (рис. 5).

Таблиця 4. Характеристика листків 47-добових рослин *Quercus robur* та *Q. rubra*, вирощених з непраймованих (контроль) та праймованих розчином N-гексаноїл-L-гомосеринлактону (C_6 -ГГЛ) (300 мг/л)

Table 4. Characteristics of leaves of 47-day-old plants of *Quercus robur* and *Q. rubra* grown from non-primed (control) and primed acorns with solution of N-hexanoyl-L-homoserinlactone (C_6 -HSL) (300 mg/L)

Біометричні показники	Контроль		C_6 -ГГЛ		Контроль	C_6 -ГГЛ
	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>	
Довжина, мм (від верхнього до нижнього)	5±0,3 22±1,1	8±0,4 36±1,8	9±0,5 25±1,3*	12±0,6 42±2,1*	7±0,4 95±4,9	32±1,6 97±4,9*
Площа одного листка, мм ² (нумерація від кореня)						
7						17±0,8*
6		32±1,6		22±1,3*	22±1,3	325±16,4*
5	16±0,8	83±4,2	55±2,8*	98±4,9*	412±20,7	574±28,7*
4	36±1,8	154±7,7	64±3,2*	172±8,6*	959±48,1	691±34,7*
3	68±3,4	229±11,5	73±3,8*	275±13,9*	1519±76,0	830±41,5*
2	90±4,6	311±15,6	102±5,1*	411±20,8*	1905±95,3	1499±75,1*
1	174±8,7	484±24,2	110±5,6*	496±24,8*	1372±68,7	1716±85,9*

* – достовірна відмінність при $P \leq 0,05$ порівняно з контролем; представлені дані є середніми значеннями \pm SE, n = 60

* – significant difference at $P \leq 0.05$ vs. control; data are the mean \pm SE, n = 60

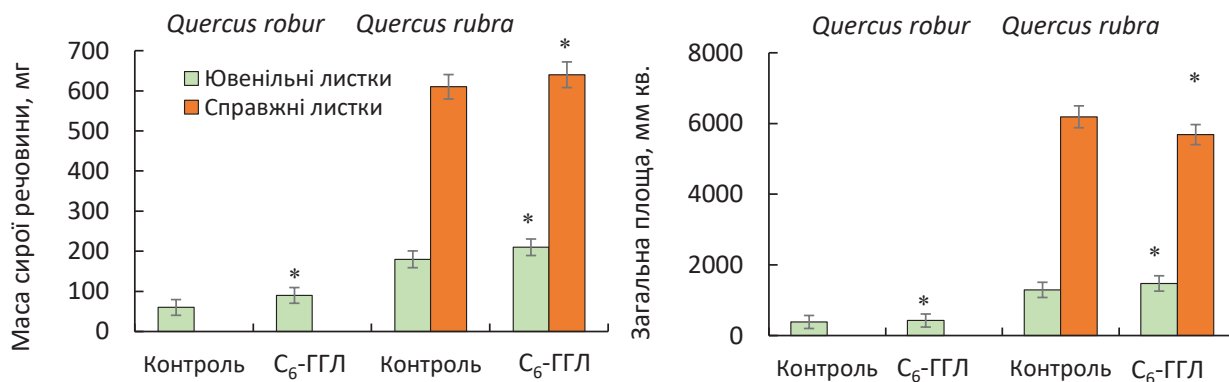


Рис. 6. Характеристика листків 47-добових рослин *Quercus robur* та *Q. rubra*, вирощених з непраймованих (контроль) та праймованих розчином N-гексаноїл-L-гомосеринлактону (C_6 -ГГЛ) (300 мг/л) жолудів

* – достовірна відмінність при $P \leq 0,05$ порівняно з контролем; представлені дані є середніми значеннями \pm SE, n = 60

Fig. 6. Characteristics of leaves of 47-day-old plants of *Quercus robur* and *Q. rubra* grown from non-primed (control) and primed with N-hexanoyl-L-homoserine lactone (C_6 -HSL) solution (300 mg/L) acorns

* – significant difference at $P \leq 0.05$ vs. control; data are the mean \pm SE, n = 60

Біометрична характеристика листків

На рослинах *Q. robur* третьої групи та *Q. rubra* другої групи на 47-му добу вегетації сформувались нерозкриті ювенільні листки. У рослин *Q. robur* та *Q. rubra*, вирощених із праймованих розчином C_6 -ГГЛ жолудів, розвинулось 5(6) ювенільних листків, тоді як в контролі їх було відповідно 4(5) та 4(6). Справжні розкриті листки з'явилися у рослин *Q. rubra* третьої групи. У рослин, вирощених із

праймованих розчином C_6 -ГГЛ жолудів, розвинулось 5–6(7) листків, тоді як у контролі 5(6). Ювенільні листки *Q. robur* поступалися за розміром листкам *Q. rubra* (табл. 4, рис. 2).

Праймування жолудів розчином C_6 -ГГЛ індукувало збільшення біомаси і загальної площі ювенільних листків *Q. robur* відповідно на 50 та 10,7%, а *Q. rubra* на 16,7 та 14,1%. Біомаса справжніх листків 47-добових рослин *Q. rubra*, вирощених

з праймованих жолудів, зросла на 5% у межах похибки, тоді як їхня площа була на 8% меншою за контроль (рис. 6).

Отже, праймування жолудів розчином C_6 -ГГЛ покращило ростові показники листків рослин обох видів *Quercus*. Лише загальна площа справжніх листків *Q. rubra* була меншою за контроль.

Обговорення

Дуби з давніх часів відіграють важливу роль у житті людини. Вони вважаються ключовими елементами "здоров'я" та біорізноманіття Землі, пов'язані з культурою та духовністю, забезпечують людство різноманітною корисною продукцією. Їх необхідно зберігати як безцінну спадщину для майбутніх поколінь (Escandón et al., 2021). Плоди дубів є важливим компонентом дикої природи. Жолуді червоних дубів, до яких належить *Q. rubra*, зимують і проростають навесні (Bonner, Vozzo John, 1987). Несприятливі зміни температурного та водного режимів знижують стійкість рослин до бактеріальних і грибних інвазій, абіотичних і біотичних чинників.

Праймування належить до ефективних екологічних біотехнологій, які підвищують життєздатність і стійкість насіння, сприяють його синхронному проростанню, оптимізують ріст і розвиток дорослих рослин, підвищують врожайність (Vabenko et al., 2021b, 2022). Наші дослідження показали, що праймування розчином C_6 -ГГЛ позитивно вплинуло на проростання жолудів *Q. robur*, посилило їхню життєздатність. Архітектура кореневої системи безпосередньо впливає на ріст деревних видів рослин. Збільшення площі кореня дозволяє посилити поглинання поживних речовин, що сприяє інтенсифікації ростових процесів (Yamada et al., 2005; Vinotto et al., 2010). У сянців дуба в перші роки життя інтенсивно розвивається стрижневий корінь, довжина якого значно перевищує розміри надземної частини (Hvozdyak et al., 1993). Повідомлялось, що присутність у поживному середовищі вирощування *Arabidopsis thaliana* розчину N-гексаноїл-DL-гомосеринлактону істотно впливає на довжину первинного кореня, змінюючи співвідношення між ендегенними ауксинами та цитокінінами (von Rad

et al., 2008; Liu et al., 2012). АГЛ у мікромольних концентраціях пригнічували ріст первинного кореня і активували розвиток бічних коренів і кореневих волосків арабідопсису, внаслідок регуляції поділу і диференціації клітин меристеми (Ortiz-Castro et al., 2008). Обробка рослин АГЛ або їхнє додавання в поживне середовище індукувала накопичення біомаси пагонів і кореня арабідопсису (Schenk et al., 2012; Shrestha et al., 2019; Shrestha, Schikora, 2020). Подібні ефекти були виявлені нами після праймування жолудів *Q. robur* та *Q. rubra* у розчині C_6 -ГГЛ. Ми спостерігали розростання та зміну архітектури кореневої системи, появу великої кількості бічних коренів та збільшення сухої біомаси в усіх органах проростків обох видів.

Висновки

Праймування розчином C_6 -ГГЛ активувало проростання жолудів та стимулювало ріст 47-добових рослин *Quercus robur* та уповільнювало ріст рослин *Q. rubra*. Екзогенна C_6 -ГГЛ не знімала синдрому появи недружніх сходів у досліджуваних видів, але покращила життєздатність жолудів і сприяла збільшенню кількості проростків.

Подяки

Публікація містить результати досліджень, проведених у рамках проекту, що фінансується Національною академією наук України (Договір No 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 pp.).

ORCID

І.В. Косаківська: [ID https://orcid.org/0000-0002-2173-8341](https://orcid.org/0000-0002-2173-8341)
В.А. Васюк: [ID https://orcid.org/0000-0003-1069-9698](https://orcid.org/0000-0003-1069-9698)
Л.В. Войтенко: [ID https://orcid.org/0000-0003-0380-0807](https://orcid.org/0000-0003-0380-0807)
М.М. Щербатюк: [ID https://orcid.org/0000-0002-6453-228X](https://orcid.org/0000-0002-6453-228X)
Л.М. Бабенко: [ID https://orcid.org/0000-0001-5391-9203](https://orcid.org/0000-0001-5391-9203)
К.О. Романенко: [ID https://orcid.org/0000-0003-0456-4412](https://orcid.org/0000-0003-0456-4412)

Список посилань

- Babenko L.M., Kosakivska I.V., Romanenko K.O. 2022. Molecular mechanisms of N-acyl homoserine lactone signals perception by plants. *Cell Biology International*, 46(4): 523–534. <https://doi.org/10.1002/cbin.11749>
- Babenko L.M., Kosakivska I.V., Voytenko L.V., Romanenko K.O. 2021a. *Fizyolohiya roslyn i henetyka*, 53(5): 371–386. [Бабенко Л.М., Косаківська І.В., Войтенко Л.В., Романенко К.О. 2021а. Бактеріальні сигнальні молекули класу ацилгомосеринлактонів: вплив на ріст і стресостійкість рослин. *Фізіологія рослин і генетика*, 53(5): 371–386. <https://doi.org/10.15407/frg2021.05.371>]
- Babenko L.M., Romanenko K.O., Iungin O.S., Kosakivska I.V. 2021b. Acyl-homoserine lactones for crop production and stress tolerance of agricultural plants. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*, 56(1): 3–19.
- Binotto A.F., Dal Col Lucio 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>
- Bonner F.T., Vozzo J.A. 1987. *Seed Biology and Technology of Quercus*. Gen. Tech. Rep. SO-66. New Orleans, LA: U.S. Dept of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 21 pp. <https://doi.org/10.2737/SO-GTR-66>
- Escandón M., Castillejo M.Á., Jorrín-Novo J.V., Rey M.-D. 2021. Molecular research on stress responses in *Quercus* spp.: from classical biochemistry to systems biology through omics analysis. *Forests*, 12(3): 364. <https://doi.org/10.3390/f12030364>
- Gahoi P., Omar R.A., Verma N., Gupta G.S. 2021. Rhizobacteria and acylated homoserine lactone-based nanobiofertilizer to improve growth and pathogen defense in *Cicer arietinum* and *Triticum aestivum* plants. *ACS Agricultural Science & Technology*, 1(3): 240–252. <https://doi.org/10.1021/acscagcitech.1c00039>
- Hrodzynskiy D.M., Shelyah-Sosonko Yu.R., Cherevchenko T.M., Yemelyanov I.H., Sobko V.H. (eds.). 2001. *Problemy zberezhennya ta vidnovlennya bioriznomanitтя v Ukraini*. Kyiv: Akadempriodyka, 105 pp. [Гродзинський Д.М., Шеляг-Сосонко Ю.Р., Черевченко Т.М., Ємельянов І.Г., Собко В.Г. (ред.). 2001. *Проблеми збереження та відновлення біорізноманіття в Україні*. Київ: Академперіодика, 105 с.]
- Hvozdyak R.Y., Hordyenko M.Y., Hoychuk A.F. 1993. *Dub chereschatyi v Ukraine*. Kyiv: Naukova Dumka, 222 pp. [Гвоздяк Р.І., Гордиенко М.І., Гойчук А.Ф. 1993. *Дуб черешчатий в Україні*. Київ: Наукова думка, 222 с.]
- Kosakivska I.V., Babenko L.M., Romanenko K.O., Futorna O.A. 2020. Effects of exogenous bacterial quorum sensing signal molecule (messenger) N-hexanoyl-L-homoserine lactone (C6-HSL) on morphological and physiological responses of winter wheat under simulated acid rain. *Dopovidi Natsionalnoi akademiyi nauk Ukrainy*, 8: 92–100. <http://dx.doi.org/10.15407/dopovidi2020.08.092>
- Kosakivska I.V., Voytenko L.V., Vasyuk V.A., Shcherbatiuk M.M. 2022. *Ukrainian Botanical Journal*, 79(4): 254–266. [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]. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj79.04.254>
- Lareen A., Burton F., Schäfer P. 2016. Plant root-microbe communication in shaping root microbiomes. *Plant Molecular Biology*, 90(6): 575–587. <https://doi.org/10.1007/s11103-015-0417-8>
- Liu F., Bian Z., Jia Z., Zhao Q., Song S. 2012. The GCR1 and GPA1 participate in promotion of Arabidopsis primary root elongation induced by N-acyl-homoserine lactones, the bacterial quorum-sensing signals. *Molecular Plant-Microbe Interactions: MPMI*, 25(5): 677–683. <https://doi.org/10.1094/MPMI-10-11-0274>
- Moshynets O.V., Babenko L.M., Rogalsky S.P., Iungin O.S., Foster J., Kosakivska I.V., Potters G., Spiers A.J. 2019. Priming winter wheat seeds with the bacterial quorum sensing signal N-hexanoyl-L-homoserine lactone (C6-HSL) shows potential to improve plant growth and seed yield. *PLoS ONE*, 14(2): e0209460. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209460>
- Natelson S., Natelson E.A. 1989. Preparation of D-, DL- and L-homoserine lactone from methionine. *Microchemical Journal*, 40: 226–232. [https://doi.org/10.1016/0026-265X\(89\)90074-X](https://doi.org/10.1016/0026-265X(89)90074-X)
- Nicolescu V.N., Vor T., Mason W.L., Bastien J.C., Brus R.H., Henin J.M., Kupka I., Lavnyy V., La Porta N., Mohren F., Petkova K., Rédei K., Stefančík I., Waşik R., Perić S., Hernea C. 2018. Ecology and management of northern red oak (*Quercus rubra* L. syn. *Q. borealis* F.Michx.) in Europe. *Forestry*, 93(4): 481–494. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpy032>
- Ortiz-Castro R.A., Martinez-Trujillo M.I., Lypez-Bucio J.O. 2008. N-acyl-L-homoserine lactones: a class of bacterial quorum-sensing signals alter post-embryonic root development in *Arabidopsis thaliana*. *Plant, Cell & Environment*, 31(10): 1497–1509. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2008.01863.x>
- Rogovsky S.V. 2006. *Naukoviy visnyk NLTU Ukrainy: zbirnyk naukovo-tekhnichnykh prats* (Lviv), 16.2: 41–47. [Роговський С.В. 2006. Внутрішньовидова мінливість та адаптаційна стратегія (*Quercus robur* L.) на прикладі дубових насаджень дендропарку "Олександрія". *Науковий вісник НЛТУ України: збірник науково-технічних праць* (Львів), 16.2: 41–47].
- Schenk S.T., Stein E., Kogel K.H., Schikora A. 2012. Arabidopsis growth and defense are modulated by bacterial quorum sensing molecules. *Plant Signaling & Behavior*, 7(2): 178–181. <https://doi.org/10.4161/psb.18789>
- Shrestha A., Elhady A., Adss S., Wehner G., Bottcher C., Heuer H. 2019. Genetic differences in barley govern the responsiveness to N-acyl-homoserine lactone.

Phytobiomes Journal, 3: 191–202. <https://doi.org/10.1094/PBIOMES-03-19-0015-R>

- Shrestha A., Schikora A. 2020. AHL-priming for enhanced resistance as a tool in sustainable agriculture. *FEMS Microbiology Ecology*, 96(12): 226. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiaa226>
- Van Emden H. 2008. *Statistics for terrified biologists*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 360 pp.
- von Rad U., Klein I., Dobrev P.I., Kottova J., Zazimalova E., Fekete A., Hartmann A., Schmitt-Kopplin P., Durner J.

2008. Response of *Arabidopsis thaliana* to N-hexanoyl-DL-homoserine-lactone, a bacterial quorum sensing molecule produced in the rhizosphere. *Planta*, 229(1): 73–85. <https://doi.org/10.1007/s00425-008-0811-4>

- Yamada T., Suzuki E., Yamakura T., Tan S. 2005. Tap-root depth of tropical seedlings in relation to species-specific edaphic preferences. *Journal of Tropical Ecology*, 21(2): 155–160. <https://doi.org/10.1017/S0266467404002238>

Рекомендує до друку О.К. Золотарьова

Косаківська І.В., Васюк В.А., Войтенко Л.В., Щербатюк М.М., Бабенко Л.М., Романенко К.О. 2022. **Вплив екзогенної обробки водним розчином сигнальної молекули-медіатора бактеріального походження N-гексанойл-L-гомосеринлактону (C₆-ГГЛ) на проростання жолудів і ріст рослин *Quercus robur* і *Q. rubra* (Fagaceae).** *Український ботанічний журнал*, 79(5): 329–338.

Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, вул. Терещенківська 2, Київ 01601, Україна.

Реферат. У лабораторних умовах досліджено вплив праймування розчином N-гексанойл-L-гомосеринлактону (C₆-ГГЛ) (300 мг/л) на проростання жолудів та біометричні показники 47-добових рослин *Quercus robur* і *Q. rubra*. За праймування проросло 93,4% жолудів *Q. robur*, що перевищило контроль на 32,2%, тоді як у *Q. rubra* кількість пророслих жолудів була вище контролю в межах похибки на 5% і склала 90%. На 47-му добу вегетації за морфологічними ознаками рослини *Q. robur* були розділені на наступні групи: пророслі жолуді; проростки та сіянці з ювенільними листками, тоді як серед рослин *Q. rubra* були виділені проростки та сіянці зі справжніми листками. Група рослин з ювенільними листкам виявлена лише у праймованих C₆-ГГЛ зразках. Праймування індукувало диференційовані зміни біомаси сім'ядолей та прискорило використання поживних речовин проростками *Q. robur*. Відмічено його позитивний вплив на ріст і накопичення біомаси у рослин *Q. robur* та негативний, за виключенням рослин третьої групи, у *Q. rubra*. Суха біомаса в коренях проростків *Q. robur* та пагонах *Q. rubra* зросла відповідно на 103% та 153%. Праймування жолудів розчином C₆-ГГЛ індукувало збільшення кількості, довжини, біомаси та загальної площі листків. Більш виразними ці зміни були у *Q. rubra*. Зафіксовані зміни в архітектурі кореневої системи обох видів, які проявились у формуванні численних бічних коренів. У цілому праймування розчином C₆-ГГЛ активувало проростання жолудів і стимулювало ріст 47-добових рослин *Q. robur* та уповільнювало ріст рослин *Q. rubra*. Екзогенна C₆-ГГЛ не знімала синдрому появи недружніх сходів, але покращувала життєздатність насіння і сприяла збільшенню кількості проростків.

Ключові слова: *Quercus robur*, *Quercus rubra*, N-гексанойл-L-гомосеринлактон, біометричні показники, жолуді, праймування, проростання, проростки