



**І. С. НЕЙКО¹, О. В. НЕЙКО¹, О. Г. ВАСИЛЕВСЬКИЙ¹, С. І. ПОЗНЯКОВА²,
Л. В. СМАШНЮК¹, Ю. А. ЄЛІСАВЕНКО¹, М. С. БОГОСЛОВСЬКА¹, О. П. ЗЛЕНКО¹**
ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛІ «ГЕНОТИП – СЕРЕДОВИЩЕ»
ПІД ЧАС ІНДИВІДУАЛЬНОГО ВІДБОРУ ПЕРСПЕКТИВНИХ ГЕНОТИПІВ
ДУБА ЗВИЧАЙНОГО (*QUERCUS ROBUR* L.) У ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ

¹Державне підприємство «Вінницька лісова науково-дослідна станція»

²Державний біотехнологічний університет

Наведено теоретичне узагальнення еколого-генетичних підходів щодо індивідуального відбору перспективних генотипів на основі моделі взаємодії «генотип – середовище». Дослідження проведено на трьох родинних плантаціях, представлених 7-річним потомством дуба звичайного. Плантації розташовані в північній частині Хмельницької, центральній та південній частинах Вінницької області. Для оцінювання взаємодії «генотип – середовище» застосовували комплекс розроблених показників: ековаленсію Шукля, показник пластичності Насара та Хінна, ранговий показник переваги генотипу Фокса; показники екологічної стабільності Канга; показники стабільності Хінна; показники екологічної стабільності Генерасу. Визначено найперспективніші генотипи дуба звичайного за показниками продуктивності та екологічної стабільності під час випробування плюсових дерев за потомством у різних умовах. За результатами досліджень визначено, що частка фенотипової мінливості, яка зумовлена чинниками середовища, збільшується за їхньої зміни. Для потомств, які ростуть в оптимальних кліматичних і ґрунтово-гідрологічних умовах, частка мінливості, яка зумовлена генетичними властивостями деревних порід, збільшується майже вдвічі. За показниками екологічної стабільності в умовах навколишнього середовища та енергією росту за висотою виявлено, що найкращими є родини плюсових дерев вінницького (В-8, В-22, В-46, В-48, В-54, В-105) та тернопільського (Т-19) походжень.

Ключові слова: родинні плантації, потомство, генотип, середовище, плюсові дерева.

Вступ. Роботи із випробування потомства плюсових дерев в Україні розпочато в 1950–1960 рр. науковцями лабораторії селекції УкрНДЛГА під керівництвом С. С. П'ятницького (Pyatnytskyi 1954). Перші випробні культури дуба звичайного закладено Н. І. Давидовою у 1958 р. на Харківщині (Davydova 1967). В умовах Правобережного Лісостепу дослідження потомства плюсових дерев у 1976–1980 рр. очолював В. І. Білоус. У цей період під його керівництвом створено випробні культури дуба у Вінницькій, Хмельницькій і Тернопільській областях (Bilous 2004, Hayda et al. 2008, Hayda et al. 2011, Los et al. 2012).

Більшість підходів щодо визначення критеріїв для характеристики потомства плюсових дерев охоплювали їхнє оцінювання за показниками продуктивності, якості та стану. Водночас на практиці варіанти, що здебільшого мали переваги за одним із параметрів, за іншими могли значно поступатися решті. У зв'язку з цим І. М. Патлаєм та П. І. Молотковим запропоновано комплексне оцінювання потомства (Patlay & Molotkov 1997). Згідно з методикою оцінювали показники із застосуванням балів. Відбирали дерева, які набирали вищу загальну кількість балів відносно контролю (Methodology of Variety Testing 2019).

Останніми десятиліттями підходи щодо комплексного оцінювання плюсових дерев та їхнього потомства широко впроваджували в наукову практику (Mazhula 2007, Tereshchenko et al. 2011, Dyshko & Togosova 2018, Los et al. 2018). У цих методиках здебільшого передбачено застосування уніфікованих одиниць (балів) для ранжування відібраних дерев чи оцінювання їхнього потомства.

Незважаючи на наявні значні площі випробних культур, одним із основних недоліків їхнього створення є те, що більшість закладено за регіональним принципом в однотипних лісорослинних умовах. Наразі це не дає можливості виокремити генетичну складову та застосувати підходи щодо оцінювання взаємодії «генотип – середовище» (Hayda et al. 2013, Furdychko & Neyko 2019).

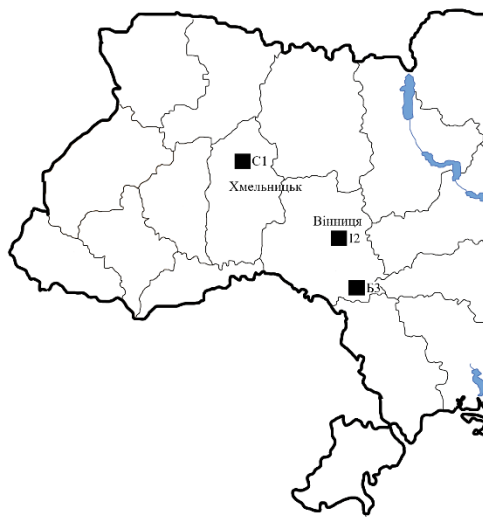
Оцінювання взаємодії «генотип – середовище» є надзвичайно важливим питанням вивчення адаптивної здатності як на індивідуальному, так і на популяційному рівні (Hamann

et al. 2000, Hamann et al. 2011, Hayda et al. 2013, Neyko & Kolchanova 2018). У зарубіжних країнах в основу випробування потомства лісоутворювальних порід покладено еколого-генетичні підходи, які передбачали застосування моделі «генотип – середовище». Саме завдяки використанню цього підходу в лісовій селекції вдалося виокремити екологічну та генетичну складові (Wricke 1962, Eberhart & Russell 1966, Hanson 1970, Tai 1971, Shukla 1972, Francis & Kannenberg 1978, Nassar & Hühn 1987, Becker & Leon 1988, Lin & Binns 1988, Fox et al. 1990, Hühn 1990, 1996, Kang & Pham 1991, Ukalska et al. 2011, Eduardo et al. 2015). Такі дослідження дали можливість не лише оцінити взаємодію генотипу та середовища, але й забезпечити успішний відбір найстійкіших та найадаптованіших до змін індивідуумів.

Оцінювання взаємодії «генотип – середовище», або реагування генотипу на умови навколишнього середовища, є важливим аспектом і перспективним напрямом селекційних досліджень. Значним етапом таких досліджень є їхнє планування та підбір відповідних умов середовища, які визначаються кліматичними та ґрунтово-гідрологічними характеристиками територій (Becker & Leon 1988). Упродовж останнього десятиліття розроблено програмні продукти для розрахунку показників взаємодії «генотип – середовище» завдяки використанню пакетів R-statistics (Breeder 2018) та SAS (Ukalska et al. 2011, Eduardo et al. 2015, Dia et al. 2016).

Мета роботи – виділити найперспективніші генотипи плюсових дерев дуба звичайного в Правобережному Лісостепу за показниками екологічної пластичності та стабільності.

Матеріали й методи. Дослідження взаємодії «генотип – середовище» проведено на трьох родинних плантаціях, закладених у Хмельницькій (ДП «Славутське ЛГ») та Вінницькій (ДП «Іллінецьке ЛГ») та ДП «Бершадське ЛГ») областях у 2011 р. Плантації створено шляхом висівання жолудів у весняний період. Жолуді заготовлено на архівно-маточній плантації у Вінницькій області у 2010 р. Родинні плантації дуба звичайного створено в районах різної локалізації (рис. 1).



C₁, I₂, B₃ – родинні плантації

Рис. 1 – Райони розташування родинних плантацій, створених у 2011 р.

Родинна плантація C₁ (ДП «Славутське ЛГ») має найпівнічніше розташування в межах Правобережного Лісостепу. Кожна із 20 локалізованих родин представлена півсїбсовим потомством у кількості від 37 до 44 рослин. У центральній частині розташована плантація I₂ (ДП «Іллінецьке ЛГ»). Загальна кількість родин – 20, кожна з яких налічує від 31 до 36 екземплярів. У південній частині локалізована плантація B₃ (ДП «Бершадське ЛГ»). На плантації зосереджено 25 потомств плюсових дерев, кожне з яких налічує від 18 до 35 рослин.

На основі бази даних WorldClim (WorldClim 2022) визначено основні кліматичні характеристики місць розташування родинних плантацій. Об'єкт C₁ відзначається

найпрохолоднішим температурним режимом. Максимальну різницю середніх температур у порівнянні із південною локалізацією (плантація Б₃) – 0,7–0,9°C – визначено в другій половині вегетаційного періоду (7–9 місяці) (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика температурного режиму місць розташування родинних плантацій дуба звичайного

Родинна плантація	Температура	Місяць											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
С ₁	<i>T_{сер}</i>	-5,7	-4,5	-0,2	7,7	13,8	17,5	18,6	17,7	13,4	7,9	2,2	-2,6
	<i>T_{max}</i>	-8,7	-7,7	-3,8	2,8	8,3	12,1	13,3	12,3	8,3	3,7	-0,4	-5,1
	<i>T_{min}</i>	-2,6	-1,3	3,5	12,6	19,3	22,9	23,9	23,1	18,6	12,1	4,9	0,0
І ₂	<i>T_{сер}</i>	-5,7	-4,3	0,2	8,2	14,3	17,5	18,9	18,1	13,7	7,8	1,8	-2,4
	<i>T_{max}</i>	-8,7	-7,5	-3,3	3,4	9,0	12,2	13,5	12,6	8,4	3,5	-0,9	-4,9
	<i>T_{min}</i>	-2,6	-1,1	3,8	13,0	19,6	22,8	24,3	23,7	19	12,1	4,5	0,1
Б ₃	<i>T_{сер}</i>	-5,2	-4,0	0,5	8,4	14,5	17,9	19,4	18,6	14,1	8,0	2,2	-2,0
	<i>T_{max}</i>	-8,1	-7,0	-3,0	3,8	9,4	12,8	14,2	13,2	8,9	3,7	-0,6	-4,5
	<i>T_{min}</i>	-2,2	-0,9	4,0	13,1	19,6	23,0	24,6	24,0	19,3	12,4	5,1	0,6
Різниця С ₁ – Б ₃	<i>T_{сер}</i>	-0,5	-0,5	-0,7	0,7	0,7	0,4	0,8	0,9	0,7	0,1	0,0	0,6
	<i>T_{max}</i>	-0,6	-0,7	-0,8	1,0	1,1	0,7	0,9	0,9	0,6	0,0	-0,2	-0,6
	<i>T_{min}</i>	-0,4	-0,4	-0,5	0,5	0,3	0,1	0,7	0,9	0,7	0,3	-0,2	-0,6

Родинна плантація північного розташування (С₁) вирізняється найвищим рівнем зволоження. Особливо значним є перевищення суми опадів упродовж вегетації (4–10 місяці). Водночас родинна плантація С₁ характеризується нижчою сумою опадів у зимовий період. Плантацію С₁ створено в умовах світло-сірих лісових оглеєних ґрунтів, а інші – І₂ та Б₃ – в умовах сірих лісових ґрунтів та лугово-чорноземних ґрунтів (табл. 2).

Таблиця 2

Характеристика ґрунтового покриву родинних плантацій дуба звичайного у Хмельницькій (С₁) та Вінницькій (І₂, Б₃) областях

Родинна плантація	Розташування, координати		Висота н. р. м., м	Тип ґрунту (міжнародна класифікація/ класифікація, прийнята в Україні)	Тип лісу
	широта	довгота			
С ₁	50°24'50.0686"N	27°5'26.5938"E	228	Gleyic Podzoluvisols / ясно-сірі лісові оглеєні	Свіжий дубово-сосновий сугруд (С ₂ -гДС)
І ₂	49°4'22.3287"N	29°14'39.8834"E	274	Haptic Greyzems / сірі лісові та темно-сірі лісові	Свіжа грабова діброва (D ₂ -гД)
Б ₃	48°20'34.5318"N	29°33'56.7015"E	238	Luvic Phaeozems / лугово-чорноземні	Свіжа грабова діброва (D ₂ -гД)

Для оцінювання взаємодії «генотип – середовище» застосовували комплекс показників: ековаленсію Шукля (Shukla 1972), показник пластичності Насара та Хінна (Nassar & Hühn 1987), показники екологічної пластичності та енергії росту за ранговим показником переваги генотипу (Fox et al. 1990); показники екологічної стабільності Канга та енергії росту в умовах зміни середовища (Kang & Pham 1991); показники рангових параметрів стабільності Хінна та енергії росту в умовах зміни середовища (Nassar & Hühn 1987); показники екологічної стабільності Тенерасу (N4) та енергії росту в умовах зміни середовища (Thennarasu 1995).

Використання значної кількості моделей зумовлено необхідністю їхнього застосування, оскільки результати можуть дещо відрізнятися (Becker & Leon 1988). Зазначені показники розраховували за допомогою пакетів статистичної обробки R-statistics та BreedR (BreedR 2018).

Для оцінювання подібності-відмінності між генотипами та в межах одного генотипу застосовували критерій достовірності (адитивності) Тьюкі (Tukey's honestly significant difference test). Розрахунок показника достовірності різниці Тьюкі базується на основних підходах щодо розрахунку критерію Стьюдента.

Коефіцієнт успадкування h^2 розраховували відповідно до методики Коттерілла і Зеда (Hayda et al. 2013) за формулою (1):

$$h^2 = \frac{4\sigma_f^2}{\sigma_f^2 + \sigma_I^2 + \sigma_e^2} \quad (1)$$

де σ_f^2 – дисперсія (варіанса) між родинами;

σ_I^2 – дисперсія (варіанса) внаслідок взаємодії родина × повторність;

σ_e^2 – залишкова дисперсія.

Результати та обговорення. Найвищу продуктивність дерев за висотою визначено для ділянки найпівденнішого розташування (Б₃). Якщо за локалізації плантацій у північній частині (С₁) середня висота потомств становила 0,9 м, то в разі переміщення у південному напрямку (Б₃) середня висота збільшилася до 2,7 м. Перевищення за висотою становило 1,8 м. За середнього річного приросту в північних умовах 0,12 м у південній частині цей показник збільшився до 0,38 м (табл. 3).

Таблиця 3

Характеристика енергії росту 7-річних потомств дуба звичайного у районах розташування плантацій

Родинна плантація	N, рослин	Характеристика інтенсивності росту						σ
		H_{min} , м	H_{max} , м	$H_{сep}$, м	Z_{min} , м	Z_{max} , м	$Z_{сep}$, м	
С ₁	749	0,20	4,0	0,9 ± 0,5	0,03	0,57	0,12	0,30
I ₂	528	0,18	4,7	1,2 ± 0,8	0,03	0,67	0,17	0,68
Б ₃	321	0,50	5,5	2,7 ± 0,8	0,07	0,79	0,38	0,68
Середнє	1598	0,29	4,7	1,6 ± 0,7	0,04	0,68	0,22	0,55
Різниця Б ₃ - С ₁	–	0,30	1,5	1,8 ± 0,3	0,04	0,22	0,26	0,38

Примітка. H – висота, м; Z – приріст за висотою, м; σ – дисперсія H.

Найвищою продуктивністю на усіх плантаціях у 7-річному віці характеризувалися потомства плюсових дерев, відібраних у Вінницькій (В-13 (середня висота – 3,0 м)) та Тернопільській (Т-14, Т-21 (2,7 м)) областях.

Високу інтенсивність росту виявлено також для родин вінницького походження – В-128 та В-64 (2,2 м, 2,3 м). Потомства одеського походження (О-10, О-17, О-9) мали найнижчу енергію росту. Низьку продуктивність відзначено також у родин В-44 та В-53.

Із усіх походжень родина Т-21 має одні із найкращих характеристик за середніми значеннями та концентрацією варіанс у межах центральних кватилів (рис. 2).

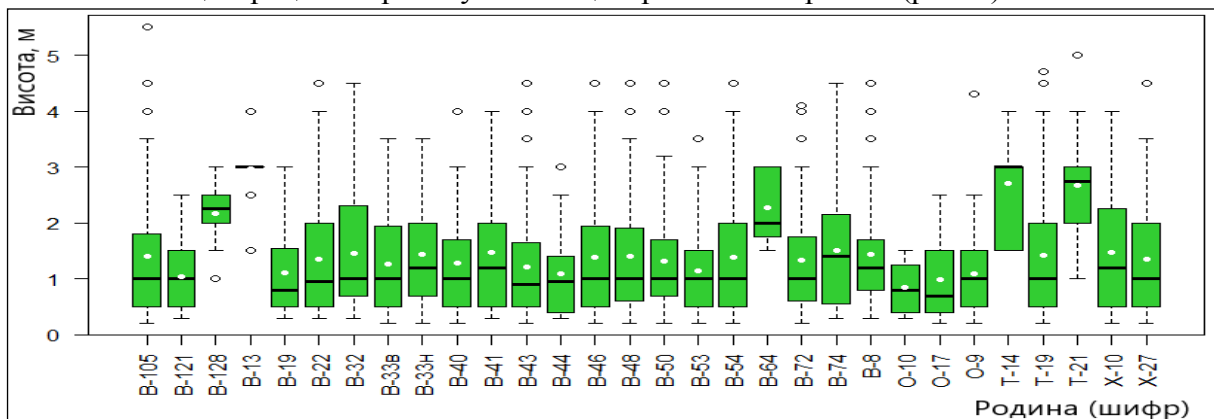


Рис. 2 – Характеристика продуктивності 7-річних родин плюсових дерев за висотою на плантаціях (С₁, I₂, Б₃)

Незважаючи на невисокі середні значення, родина В-105 характеризується значними розмахом ознак і висотою – 5,5 м. Це свідчить про високий потенціал енергії росту окремих екземплярів півсїбсового потомства цієї родини. Значним розмахом і високими значеннями максимальної висоти вирізняється також потомство плюсового дерева тернопільського походження – Т-21. Висока концентрація значень перших трьох кватилів накопичення (75 % значень) є характерною для родин вінницького походження – В-32 та В-74.

Розподіл родин на плантаціях у Вінницькій та Хмельницькій областях (С₁, І₂, Б₃) свідчить, що всі варіанти в умовах розташування південної плантації (Б₃) мають більшу висоту. Це пов'язане з кращими умовами росту, зокрема температурним режимом та родючістю ґрунту. Найвищими показниками у цих умовах місцезростання характеризується походження В-105. В умовах центральної (І₂) та північної (С₁) частин середня висота всіх потомств є меншою. В умовах північного розташування високими значеннями продуктивності за концентрацією максимальних значень вирізнялися потомства В-41 та В-74.

Потомства реагували на зміну кліматичних градієнтів і родючості ґрунту по-різному. Найактивніше підвищення середніх температур вплинуло на насінневе потомство плюсового дерева тернопільського походження – Т-19. Різниця середніх висот цієї родини в разі переміщення в південному напрямку (родинні плантації С₁→Б₃) становила 2,0 м (середня висота зроста від 0,9 до 2,9 м). Також інтенсивно реагувало на зміну умов середовища потомство плюсового дерева вінницького походження В-54. Найменш інтенсивно на зміну умов середовища відреагувало потомство плюсового дерева вінницького походження В-50. За середнього значення висоти в північній частині (плантація С₁) 0,9 м висота В-50 становила лише 2,3 м у південній частині (плантація Б₃), тобто перевищення середніх висот становило 1,4 м.

На інтенсивність росту потомства за висотою вплинули як генетичні властивості, так і умови зовнішнього середовища, які їх модифікують. Для визначення частки фенотипової та генотипової мінливості розраховано коефіцієнти успадкування ознак для потомства (табл. 4).

За розрахованими показникам виявлено, що в разі випробування потомства на північній ділянці частка фенотипової мінливості, зумовлена факторами середовища, є найбільшою. Для північної локалізації коефіцієнт успадкування h^2 становить 0,257. У разі росту потомств у центральній частині регіону (оптимальні умови) вплив факторів середовища є значно меншим. Водночас більша частка мінливості обумовлена генетичними факторами ($h^2 = 0,749$). Вплив середовища збільшується також для родин, локалізованих на плантації південного розташування ($h^2 = 0,688$). Такі тенденції є характерними для всіх генотипів.

Таблиця 4

Розрахунок коефіцієнта успадкування (h^2) ознак за висотою для родин на плантаціях у Вінницькій і Хмельницькій областях (С₁, І₂, Б₃)

Родина	$H_{\text{сер.}}, \text{ м}$	σ_p^2	$\sigma_{pC_1}^2$	$\sigma_{pI_2}^2$	$\sigma_{pB_3}^2$	$h_{pC_1}^2$	$h_{pI_2}^2$	$h_{pB_3}^2$
В-105	1,72	0,994	0,226	0,753	0,723	0,227	0,758	0,727
В-22	1,68	0,931	0,258	0,750	0,712	0,277	0,806	0,765
В-33в	1,55	1,001	0,255	0,766	0,719	0,255	0,765	0,718
В-40	1,57	1,006	0,256	0,754	0,702	0,254	0,750	0,698
В-43	1,47	0,973	0,257	0,755	0,724	0,264	0,776	0,744
В-46	1,67	1,008	0,256	0,760	0,708	0,254	0,754	0,702
В-48	1,73	1,012	0,256	0,759	0,712	0,253	0,750	0,704
В-50	1,54	1,009	0,256	0,733	0,716	0,254	0,726	0,710
В-53	1,54	0,920	0,256	0,758	0,712	0,278	0,824	0,774
В-54	1,68	1,011	0,256	0,718	0,712	0,253	0,710	0,704
В-72	1,59	0,971	0,256	0,730	0,718	0,264	0,752	0,739
В-8	1,73	0,880	0,256	0,768	0,690	0,291	0,873	0,784
Т-19	1,74	1,001	0,257	0,753	0,704	0,257	0,752	0,703
Х-27	1,60	1,015	0,258	0,763	0,708	0,254	0,752	0,698
Загалом	–	1,007	0,257	0,749	0,688	0,255	0,744	0,683

Найбільша частка мінливості, яка зумовлена генетичними факторами, властива родинам В-22, В-53, В-8, значення коефіцієнта успадкування яких є найвищим. Більш виразною модифікаційною мінливістю (фенотиповою пластичністю) відзначаються родини В-105, В-40, В-54 та Х-27. Розрахунок показника ековаленсії Шукля (Shukla 1972), який відображає збереження продуктивності генотипів у різних умовах середовища, свідчить, що родини Т-19, В-8, В-48, В-105, В-22 та В-54 можуть бути відібрані як найкращі (табл. 5, 6).

Таблиця 5

Розрахунок показника ековаленсії Шукля (Shukla 1972) потомства на родинних плантаціях у Вінницькій та Хмельницькій областях (С₁, І₂, Б₃)

Родина	$H_{\text{ср}}$, м	Дисперсія стабільності (Stab. var)	Середньоквадратичне відхилення	Ековаленсія (Ecovalence)
В-105	1,72	0,206049	0,011900	0,364053
В-22	1,68	0,055216	0,051844	0,105482
В-33в	1,55	0,024399	0,058953	0,052653
В-40	1,57	0,016516	0,004686	0,039139
В-43	1,47	0,012616	-0,002128	0,032453
В-46	1,67	0,006916	0,012732	0,022682
В-48	1,73	0,064266	-0,002231	0,120996
В-50	1,54	0,495649	0,053321	0,860510
В-53	1,54	0,050216	0,093111	0,096910
В-54	1,68	0,047216	0,056269	0,091767
В-72	1,59	-0,002134	-0,001406	0,007167
В-8	1,73	0,021216	-0,000740	0,047196
Т-19	1,74	0,044516	0,073423	0,087139
Х-27	1,60	0,018249	0,001797	0,042110

За показниками Насара та Хінна (Nassar & Hühn 1987) найвищою екологічною стабільністю вирізняються потомства В-8, В-43 та В-72, а незадовільною – В-50, В-22 та В-105 (табл. 7). Згідно з ранжуванням потомства за продуктивністю та екологічною стабільністю найкращими генотипами є В-8 та В-48, які не лише мали найвищу продуктивність у різних умовах середовища, але й мали високу екологічну стабільність. Родини В-43 та В-50 мають найнижчі відповідні показники. Незважаючи на доволі високу продуктивність, значним ступенем нестабільності в умовах зміни середовища вирізняється генотип В-22. За допомогою пакету програм R-statistics розраховані показники екологічної пластичності та продуктивності потомств плюсових дерев (рис. 3).

Таблиця 6

Розрахунок показників екологічної стабільності Шукля (Shukla 1972) для потомства на родинних плантаціях у Вінницькій та Хмельницькій областях (С₁, І₂, Б₃)

Родина	$H_{\text{ср}}$, м (Yield)	Ранг (Rank)	Коригування рангу (Adj. Rank)	Ранг уточнення (Adj. rank)	Дисперсія стабільності (Stab. var)	Індекс стабільності продуктивний (YSi)	Стійкість до середовища
В-105	1,72	11	1	12	0,206049	12	+
В-22	1,68	10	1	11	0,055216	11	+
В-33в	1,55	4	-1	3	0,024399	3	-
В-40	1,57	5	-1	4	0,016516	4	-
В-43	1,47	1	-1	0	0,012616	0	-
В-46	1,67	8	1	9	0,006916	9	+
В-48	1,73	12	1	13	0,064266	13	+
В-50	1,54	3	-1	2	0,495649	2	-
В-53	1,54	2	-1	1	0,050216	1	-
В-54	1,68	9	1	10	0,047216	10	+
В-72	1,59	6	-1	5	-0,002134	5	-
В-8	1,73	13	1	14	0,021216	14	+
Т-19	1,74	14	1	15	0,044516	15	+
Х-27	1,60	7	-1	6	0,018249	6	-

Таблиця 7

**Показники екологічної стабільності походжень на родинних плантаціях (С₁, І₂, Б₃)
 за показниками Насара і Хінна (Nassar & Hühn, 1987)**

Родина	$H_{\text{ср}}, \text{ м}$	S1	S2	S3	S6
B-105	1,72	0,667	49,000	7,681	1,575
B-22	1,68	3,167	31,750	7,267	1,600
B-33в	1,55	3,000	21,000	4,353	1,294
B-40	1,57	2,000	14,333	4,333	1,333
B-43	1,47	1,000	9,000	0,539	0,769
B-46	1,67	1,333	4,333	3,267	1,067
B-48	1,73	0,333	24,333	1,724	0,690
B-50	1,54	0,000	56,333	10,667	1,778
B-53	1,54	3,000	24,333	4,800	1,600
B-54	1,68	1,333	20,333	4,382	1,127
B-72	1,59	0,667	1,333	0,371	0,400
B-8	1,73	0,500	20,583	1,647	0,588
T-19	1,74	3,667	31,000	3,694	0,936
X-27	1,60	1,333	20,333	3,250	1,000

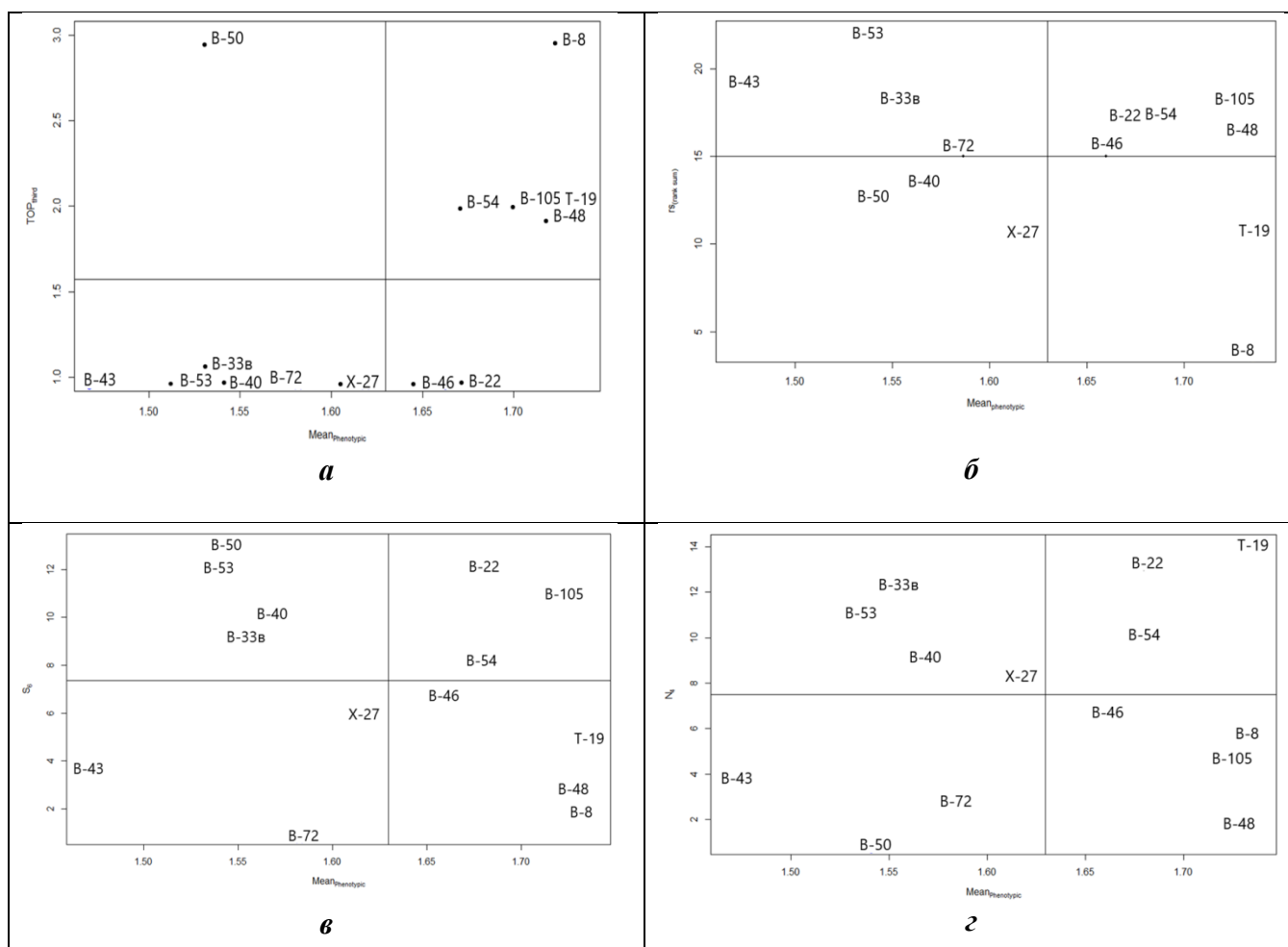


Рис. 3 – Показники потомства плюсових дерев: а – екологічна пластичність та енергія росту за ранговим показником переваги генотипу (Fox et al. 1990); б – екологічна стабільність Канга та енергія росту в умовах зміни середовища (Kang & Pham 1991); в – рангові параметри стабільності Хінна та енергії росту в умовах зміни середовища (Nassar & Hühn 1987); з – екологічна стабільність Тенерасу (N₄) та енергія росту в умовах зміни середовища (Thepparasu 1995)

За показниками екологічної стабільності (Shukla 1972, Nassar & Hühn 1987, Fox et al. 1990, Kang & Pham 1991, Thennarasu 1995) та висотою найкращими є потомства плюсових дерев В-8, В-22, В-46, В-48, В-54, В-105, Т-19. Особливо перспективним є потомство плюсового дерева В-54, яке є серед п'яти найкращих за усіма показниками.

Висновки. В разі переміщення родин дуба звичайного з північного напрямку (північна частина Хмельницької області, м. Славута) до південного (південна частина Вінницької області, м. Бершадь) частка фенотипової мінливості, зумовлена умовами середовища, зростає. Для північної локалізації родин 7-річного віку коефіцієнт успадкування h^2 за висотою становить 0,257. В оптимальних ґрунтово-гідрологічних умовах частка мінливості потомства, що зумовлена генетичними властивостями деревних порід, є більшою понад удвічі ($h^2 = 0,688$) для всіх досліджуваних генотипів.

За показниками екологічної стабільності в умовах навколишнього середовища та за енергією росту за висотою найкращими є потомства плюсових дерев вінницького (В-8, В-22, В-46, В-48, В-54, В-105) та тернопільського (Т-19) походжень. Найперспективнішим є плюсове дерево В-54, потомство якого було найкращим за всіма розрахованими показниками екологічної пластичності та стабільності.

Концепція тестування плюсових дерев має включати низку послідовних етапів перевірки в широкому діапазоні умов середовища та наступний аналіз їхніх продуктивності та екологічної стабільності із застосуванням моделі «генотип – середовище».

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

- Becker, H. B. and Leon, J. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breed*, 101: 123.
- Bilous, V. I. 2004. Selection and seed production of oak. Cherkasy, НІТЕКІМ, 200 p. (in Ukrainian).
- Breeder [BreedR: an statistical R-package for genetic evaluation of trees]. 2018. [Electronic resource]. Available at: <http://www.trees4future.eu/tools/breedr.html> (accessed 11.10.2022).
- Capra, E. P., Muñoz, F., Sanchez, L., Cantet, R. J. C. 2015. A novel individual-tree mixed model to account for competition and environmental heterogeneity: a Bayesian approach. *Tree Genetics and Genomes*, 11 (6): 1–15.
- Davydova, N. I. 1967. Selection of plus-trees of English oak and estimation of their progeny and vegetative reproduction. PhD thesis. Kharkiv, 24 p. (in Russian).
- Dia, M., Wehner, T., Arellano, C. 2016. Analysis of genotype × environment interaction (G×E) using SAS Programming. *Agronomy journal. Biometry, modeling and statistics*, 108: 1838–1852.
- Dyshko, V. A. and Torosova, L. O. 2018. A comprehensive assessment of candidates to synthetic variety-populations in the Scots pine variety tests in Gutyanske forest enterprise. *Forestry and Forest Melioration*, 132: 56–65 (in Ukrainian).
- Eberhart, S. A. and Russell, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci*, 6: 36–40.
- Fox, P. N., Skovmand, B., Thompson, B. K., Braun, H. J., Cormier, R. 1990. Yield and adaptation of hexaploid spring triticale. *Euphytica*, 47: 57–64.
- Francis, T. R. and Kannenberg, L. W. 1978. Yield stability studies in short-season maize I. A descriptive method for grouping genotypes. *Can. J. Plant Sci*, 58: 1029–1034.
- Furdychko, O. I. and Neyko, I. S. 2019. Ecological model of "genotype-environment" assessment of productivity and stability of the main forest-forming species in Ukraine. *Sustainable Nature Management*, 1: 5–14 (in Ukrainian).
- Hayda, Yu. I., Popadynets, I. M., Yatsyk, R. M., Yatsyk, R. M., Parpan, V. I., Humeniuk, I. R., Kukharskyi, T. V., Tyrchyk, A. B., Kozatska, N. Ya., Trentovskyi, V. V. 2008. Forest genetic resources and their preservation in Ternopil region. Ternopil, Pidruchnyky i posibnyky, 288 p. (in Ukrainian).
- Hayda, Yu. I., Sishchuk M. N., Yatsyk R. M. 2013. Environmental stability and plasticity of growth traits of *Quercus robur* L. and *Pinus sibirica* Du Tour. in provenance trials. *Scientific Bulletin of UNFU*, 23.13: 101–109 (in Ukrainian).
- Hayda, Yu. I., Yatsyk, R. M., Los, S. A., Tereshchenko, L. I., Neyko, I. S., Trentovskyi, V. V. 2011. Genetic variation of the shape of the trunk in semisibs *Quercus robur* L. in 23-year-old test plantings in Western Podillia. *Scientific Bulletin of NAU*, 164: 157–167 (in Ukrainian).
- Hamann, A., Gylander, T., Chen, P. Y. 2011. Developing seed zones and transfer guide-lines with multivariate regression trees. *Tree Genetics and Genomes*, 7 (2): 399–408.
- Hamann, A., Koshy, M. P., Namkoong, G., Ying, C. C. 2000. Genotype × environment interactions in *Alnus rubra*: developing seed zones and seed transfer guidelines with spatial statistics and GIS. *Forest Ecology and Management*, 136 (1–3): 107–119.
- Hanson, W. D. 1970. Genotypic stability. *Theor. Appl. Gen*, 40: 226–231.
- Hühn, M. 1990. Nonparametric measures of phenotypic stability. *Euphytica*, 47: 189–194.

Hühn, M. 1996. Nonparametric analysis of genotype × environment interaction by ranks. In: Kang, M. S. & Gauch, H. G. (Eds.). Genotype by environment interaction. CRC Press, BocaRaton, FL., p. 213–228.

Kang, M. S. and Pham, H. N. 1991. Simultaneous selection for high yielding and stable crop genotypes. Agronomy Journal, 83: 161–165.

Lin, C. S. and Binns, M. R. 1988. A superiority measure of cultivar performance for cultivar location data. Can J. Plant Sci, 68: 193–198.

Los, S. A., Hryhorieva, V. H., Samodai, V. P., Neyko, I. S. 2018. Complex assessment of larch species and hybrids perspective for the Forest-Steppe of Ukraine conditions. Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, 16: 62–70 (in Ukrainian).

Los, S. A., Neyko, I. S., Hryhorieva, V. H., Plotnikova, O. M. 2012. Results of the test of 25-year-old progeny of English oak trees in Khmelnytskyi region. Forestry and Forest Melioration, 120: 44–50 (in Ukrainian).

Mazhula, O. S., Lukianets, V. A., Bulat, A. H. 2007. Comprehensive selection of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands and trees to create a seed base. Forestry and Forest Melioration, 111: 176–181 (in Ukrainian).

Methodology of Variety Testing of Forest Tree Species. Departmental testing (new edition). 2019. Los, S. A., Tereshchenko, L. I., Torosova, L. O., Hayda, Yu. I., Vysotskaya, N. Yu., Yatsyk, R. M., Grigorieva, V. G., Plotnikova, O. M., Shlonchak, G. A., Mitrochenko, V. V., Dishko, V. A. (Eds.). Kharkiv, URIFFM, 37 p. (in Ukrainian).

Patlay, I. M. and Molotkov, P. I. 1997. Methodology of forest tree species variety testing in Ukraine. Kyiv, 40 p. (in Ukrainian).

Nassar, R. and Hühn, M. 1987. Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. Biometrics, 43: 45–53.

Neyko, I. S. and Kolchanova, O. V. 2018. Adaptability and growth characteristics of poplar varieties in the conditions of Podillia. Scientific Bulletin of UNFU, 28 (7): 53–56 (in Ukrainian).

Pyatnytskyi, S. S. 1954. Tree breeding of English oak. Moscow, Goslesbumizdat, 148 p. (in Russian).

Shukla, G. K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. Heredity, 29: 237–245.

Tai, G. C. 1971. Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials. Crop Sci, 11: 184–190.

Tereshchenko, L. I., Samodai, V. P., Los, S. A. 2011. The results of the study of the first progeny test of Scots pine in Ukraine. Forestry and Forest Melioration, 118: 128–136 (in Ukrainian).

Thenarasu, K. 1995. On certain non-parametric procedures for studying genotype environment interactions and yield stability. PhD thesis. PJ School IARI, New Delhi, India.

Ukalska, J., Smialowski, T., Ukalski, K. 2011. Comparison of parametric and non-parametric stability measures on the basis of data from preliminary trails with winter rye. Bulletin of the Institute of Cultivation and Plant Acclimatization, 260: 263–272.

WorldClim [Global climate and weather data]. 2022. [Electronic resource]. Available at: <https://www.worldclim.org> (accessed 11.10.2022).

Wricke, G. 1962. Bei eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. Z. Pflanzenzüchtg, 47: 92–96.

Neyko I. S.¹, Neyko O. V.¹, Vasylevskyi O. G.¹, Pozniakova S. I.², Smashniuk L. V.¹, Yelisavenko Yu. A.¹, Bohoslovska M. S.¹, Zlenko O. P.¹

FEATURES OF THE USAGE OF THE GENOTYPE-ENVIRONMENT MODEL IN THE INDIVIDUAL SELECTION OF PROMISING ENGLISH OAK (*QUERCUS ROBUR* L.) GENOTYPES IN THE RIGHT-BANK FOREST-STEPPE

¹Vinnytsia Forest Research Station

²State Biotechnological University

The article outlines a theoretical generalization of the ecological and genetic approaches to the individual selection of promising genotypes based on the genotype-environment interaction model. The research was conducted in three seedling seed orchards represented by English oak 7-year-old progenies. The orchards are located in the northern part of Khmelnytskyi region and the central and southern parts of Vinnytsia region. We used the following parameters of the genotype-environment interaction: Shukla's equivalency, Nassar and Hinn's plasticity index, Fox's rank indicator of genotype superiority; indicators of ecological stability of Kang; Hinn's stability indices; indicators of ecological stability of Thenarasu. The most promising genotypes of English oak were selected according to their productivity and ecological stability in progeny tests in different environmental conditions. The phenotypic variability caused by the environmental factors increases under their change. The share of genetic variability for the progenies located in optimal climatic and soil-hydrological conditions increases more than twice. The genotypes of the plus trees of Vinnytsia (B-8, B-22, B-46, B-48, B-54, B-105) and Ternopil (T-19) origins are the most promising according to the parameters of ecological stability and growth energy.

Key words: seedling seed orchards, progeny, genotype, environment, plus trees.