



А. П. Іванюк, М. М. Лісовий, О. Т. Данчук

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

БІОЛОГІЧНА СТІЙКІСТЬ ТА ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ РОСТУ *FAGUS SYLVATICA* L. В УМОВАХ ГЕОГРАФІЧНИХ КУЛЬТУР УКРАЇНСЬКОГО РОЗТОЧЧЯ

Досліджено географічні культури бука лісового в умовах Українського Розточчя, закладені навесні 1995 р., на теренах Страдківського навчально-виробничого лісокомбінату Національного лісотехнічного університету України, у межах Міжнародної програми "Оцінка генетичних ресурсів бука у Європі". Зазначену вище програму координує Інститут лісової генетики (Німеччина). У її межах, використовуючи єдину уніфіковану методику, створено мережу географічних культур бука в 23 пунктах Європи, з охопленням 17 країн. В українській частині експерименту загалом представлено 70 провенієнцій із 10 країн Європи, зокрема: 13 українських провенієнцій бука лісового, 31 – з Німеччини, 11 – з Польщі, 5 – зі Словаччини, 3 – з Франції, по 2 – з Данії та Чехії, і по 1 – з Італії, Іспанії, Молдови. За результатами проведеного дослідження встановлено, що у віці 28 років у складі географічних культур збереглося 3967 дерев, що становить 37,8 % від початкової густоти культур. При цьому існують значні відмінності між екотипами. Зокрема, найнижчий рівень збереженості дерев характерний для провенієнцій 8952 (Гермескайл, Німеччина) та 9054 (Криница, Польща), для яких цей показник становить 24,7 %, а найвищий – для провенієнції 8958 (Бовенден, Німеччина), з показником збереженості 50,7 % від початкової кількості. Порівняння таксаційних показників деревостанів бука лісового різних провенієнцій вказує на досить значні відмінності щодо їх росту за діаметром та висотою. Рівень диференціації провенієнцій за середнім діаметром характерний показниками від 9,2 см (провенієнція 9007 (Кладска, Чехія) до 14,1 см (провенієнція 8945 (Тренк, Словаччина); за середньою висотою – від 11,6 м (провенієнція 8948 (Смоленіце, Словаччина) до 16,5 м (провенієнція U9 (Воловець, Україна); за запасом на 1 га – від 74,3 м³/га (провенієнція U7 (Сваліява-2, Україна) до 262,3 м³/га (провенієнція 8940 (Остенгольц-Шармбек, Німеччина). Отримані експериментальні дані дають змогу оцінити рівень біологічної стійкості та основних показників росту представлених в експерименті провенієнцій бука лісового у природних умовах Українського Розточчя. Проведення подальшого дослідження та їх узагальнення у межах проекту загалом матиме важливе значення для створення стійких та продуктивних букових насаджень у сучасних умовах глобального потепління.

Ключові слова: бук лісовий; провенієнція; екотип; збереженість дерев; таксаційні показники.

Вступ / Introduction

Бук лісовий (*Fagus sylvatica* L.) є одним із найпоширеніших та господарсько цінних видів у Європі, зростаючи або формуючи чисті та змішані насадження на значній частині її території в різних природних умовах. Ліси за участі бука лісового займають площу понад 12 млн га та поширені від південної Скандинавії до Піренейського, Апеннінського та Балканського півостровів, а також від півдня Англії до України. Варто зазначити, що у Центральній Європі досліджуваний вид є компонентом рівнинних лісів, а в районі Середземномор'я виступає як типовий гірський вид [40].

В Україні, за даними Державного агентства лісових ресурсів [36], бук лісовий займає 7 % від площі усіх лісів та посідає четверте місце серед лісотвірних видів і переважає на заході країни. На території Українського Розточчя досліджуваний вид є другим після сосни звичайної за площею формування лісових масивів (12810 га), що становить 28,4 % від лісового фонду регіону. Важливо, що знаходячись фактично майже на північно-східній межі ареалу поширення виду, тут він здебільшого досягає I бонітету, а інколи I^a та навіть I^b бонітетів та формує загалом 11 типів лісу [22].

Бук лісовий, завдяки значному ареалу поширення та високій екологічній і економічній цінності, є одним із

Інформація про авторів:

Іванюк Андрій Петрович, канд. с.-г. наук, доцент, кафедра лісових культур і лісової селекції. Email: a.ivanuk@nltu.edu.ua;

<https://orcid.org/0000-0002-1489-4733>

Лісовий Микола Миколайович, д-р с.-г. наук, професор, завідувач кафедри лісових культур і лісової селекції.

Email: m.lisovyi@nltu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0001-7624-1052>

Данчук Олег Тадейович, канд. с.-г. наук, доцент, кафедра лісових культур і лісової селекції. Email: oleg_danchuk@ukr.net;

<https://orcid.org/0000-0003-2059-5446>

Цитування за ДСТУ: Іванюк А. П., Лісовий М. М., Данчук О. Т. Біологічна стійкість та основні показники росту *Fagus sylvatica* L. в умовах географічних культур Українського Розточчя. Науковий вісник НЛТУ України. 2025, т. 35, № 4. С. 09–17.

Citation APA: Ivaniuk, A. P., Lisovyi, M. M., & Danchuk, O. T. (2025). Biological resistance and main growth indicators of *Fagus sylvatica* L. under conditions of geographical crops of the Ukrainian Roztochchia. *Scientific Bulletin of UNFU*, 35(4), 09–17.

<https://doi.org/10.36930/40350401>

найбільш ретельно досліджених видів Європи. Водночас наукові дослідження з особливостей росту деревостанів бука лісового різного походження (екотипів та провенієнцій) у певних природних умовах, зокрема на північно-східній межі його ареалу, висвітлено у незначній кількості публікацій [2, 33, 38, 39].

Здійснення подібного дослідження дає змогу отримати важливу інформацію, на підставі якої оцінюють рівень пластичності як окремих екотипів, так і виду загалом. Актуальність такого дослідження набуває особливого значення для розуміння перспектив функціонування виду у межах сучасного природного та культивованого ареалу, а також зважаючи на спостережувані та прогнозовані кліматичні зміни.

З огляду на регіональні відмінності впливу людини на процес поширення досліджуваного виду, а також втрату значної частини природних листяних лісів у Європі, існує певна невизначеність щодо сучасної північно-східної межі ареалу бука лісового. Окрім цього, деякі екологічні фактори, які формують конкурентоспроможність досліджуваного виду, можуть "маскуватися" антропогенним впливом [13].

Сучасні дослідження свідчать про значний вплив мінливості клімату на поширення букових лісів. Зокрема, оцінювання останніх змін у рості 5800 дерев досліджуваного виду із 324 місць зростання (усі географічні та кліматичні діапазони) та сформовані моделі свідчать про зменшення регіону поширення бука за останні десятиліття та прогнозують продовження цієї тенденції. Зменшення ареалу поширення букових лісів може характеризуватися показником від 20 до понад 50 % (до 2090 р.), що буде залежати від регіону та перебігу змін клімату [27].

Географічні культури бука лісового в Українському Розточчі створено у 1995 р. на теренах Страдцівського навчально-виробничого лісокомбінату Національного лісотехнічного університету України в межах Міжнародної програми "Оцінка генетичних ресурсів бука у Європі" (широта 49° 55', довгота 23° 42'; висота над рівнем моря – 330 м). Рельєф ділянки неоднорідний, ухил поверхні становить приблизно 4–6°. Ґрунти дерново-опідзолені середньої потужності [12].

На зазначеній вище дослідній ділянці представлено 70 провенієнцій із 10 країн Європи [6, 30, 45]. Україна представлена 13 провенієнціями. Такі ж дослідні культури за аналогічною методикою створили у 23 пунктах Європи. Згідно з програмою ІЮПРО, на цих об'єктах передбачено виконання дослідження особливостей зростання культур бука лісового різних географічних походжень [5]. Програму координує Інститут лісової генетики (Німеччина).

Об'єкт дослідження – географічні культури бука лісового, які зростають в Українському Розточчі.

Предмет дослідження – основні показники росту та збереженість провенієнцій бука лісового в умовах географічних культур в Українському Розточчі, встановлення яких дасть змогу оцінити їх біологічну стійкість.

Мета дослідження – здійснити порівняльне оцінювання основних показників росту і збереженість місцевих та інорайонних провенієнцій бука лісового, що дасть змогу виявити найпластичніші інорайонні провенієнції у контексті перспектив їх штучного культивування в умовах Українського Розточчя.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- отримати фактичні дані щодо рівня збереженості дерев кожної з провенієнцій, що дасть змогу виявити потенціал бука лісового в разі перенесення його репродуктивного матеріалу на значні відстані та у природні умови, відмінні за ключовими параметрами;
- встановити основні біометричні показники (середні діаметри та висоти, запаси насаджень, відносні повноти) для кожної з наведених в експерименті провенієнцій, що дасть змогу підтвердити значну генетичну пластичність досліджуваного виду за його адаптації до змін клімату.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Завдяки широкому ареалу поширення, популяції бука лісового адаптують свої характеристики росту, а також морозостійкість, до конкретних умов навколишнього середовища [42]. Фенотипову пластичність бука ґрунтовно досліджено останніми десятиліттями, щоб зрозуміти майбутній ареал поширення бука в умовах зміни клімату [28]. По всій Європі було здійснено польові експерименти для розуміння впливу походження бука на різні умови навколишнього середовища [34]. Численні дослідження, проведені в цих експериментах, були зосереджені на продуктивності та структурі букових деревостанів [8, 17, 19]. Такі експерименти дали важливе розуміння відмінностей між походженнями, які демонструють різну чутливість до змін клімату [41].

Мінливість кліматичних умов до та під час вегетаційного періоду істотно впливає на ріст дерев і, отже, на продуктивність букових лісів [7]. Різні кліматичні фактори впливають на ріст всіх ареалів поширення бука. У південній та західній Європі високі температури ранньої весни позитивно вплинули на початок утворення ксилеми бука, що відображається в ширших річних кільцях дерев, тоді як високі літні температури негативно впливали на ріст [26]. У північній та північно-східній частинах Європи літні опади та часті весняні заморозки позитивно та негативно впливали на радіальний ріст бука відповідно [15, 31, 44]. На межі східного ареалу поширення річний приріст бука позитивно залежав від пізньовесняних опадів і негативно – від літніх температур [35]. У центральній та південно-центральної Європи ширина річних кілець у бука позитивно корелювала з літніми опадами, тоді як частіші екстремальні кліматичні явища, спричинені посухою, були основним негативним фактором впливу на ріст [9, 37]. Реакція дерев на зміни кліматичних умов також відрізнялася залежно від висоти розміщення ділянок над рівнем моря. На відміну від місць з нижчою висотою, вищі температури впродовж вегетаційного періоду на ділянках з більшою висотою мали негативний вплив на ріст бука [32].

Автори [14, 18, 20] встановили велике значення генетичної різноманітності для адаптивної реакції дерев бука лісового на процес зміни клімату. Учені зазначають, що значна генетична варіабельність здатна забезпечити наявність домінантних генетичних комбінацій, які потрібні для ефективної адаптації до нових умов. У роботі [21] автори вказують на потребу врахування місцевої генетичної різноманітності під час створення лісів, щоб встановити адаптаційні реакції досліджуваного виду у різних умовах. З іншого боку, дослідники [24, 25] зосередилися на чутливості бука до різних кліматичних умов та росту на межах ареалу і акцентують увагу на важливості вибору стійких генотипів та потребу заміни тих популяцій, які є вразливими до посухи. Тут треба зазначити, що деякі науковці [20] наголошують на важливості репрезентативного збирання насін-

ня, що дасть змогу забезпечити генетичну варіативність, а відповідно й адаптивність. На противагу цьому, інші вчені [25] розглядають потребу заміни популяцій для забезпечення стійкості та адаптації до змін клімату, як вирішення проблеми адаптації.

Наведене вище дає підстави стверджувати значну важливість дослідження генетичної пластичності та варіабельності окремих походжень бука лісового для створення надалі біологічно стійких насаджень в умовах кліматичних змін. Зокрема, це стосується географічних культур бука лісового, створених в умовах Українського Розточчя, де на сьогодні не проводили такі комплексні дослідження.

Матеріали та методи дослідження. Експериментальні дослідження на пробних площах виконували згідно із загальноприйнятими методиками у лісовій таксації, лісових культурах та лісівництві [11]. Ми здійснили суцільний перелік дерев географічних культур бука лісового за діаметром та висотою, окремо по кожному походженню у всіх трьох блоках. Діаметр вимірювали мірною вилкою із точністю до 1 см, висоту заміряли ультразвуковим висотоміром-дальноміром "VERTEX – IV" із точністю до 0,1 м. Загалом дослідженням охоплено 210 варіантів експериментального виду на площі 2,1 га. Межі кожної провенієнції відмежовували з використанням бусолі БГ-1 та мірної стрічки. Після цього виконували фіксування окремих походжень кілками по кутах квадратів. Збереженість провенієнцій бука лісового визначали як відношення кількості дерев виду на час дослідження до початкової кількості висаджених рослин. Усе дослідження було проведено у червні 2023 року.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Географічні культури бука лісового в Українському Розточчі створені за схемою 2,0×1,0 м, відповідно їх густота становила 5000 шт./га. Щоб урахувати вплив різноманітності ґрунтового вкриття, мікрорельєфу та мікроклімату на зростання дерев, кожному провенієнції бука лісового садили у трьох блоках. Кожен блок однієї провенієнції складався з п'яти рядів по десять садивних місць. Загальні блоки (повторення) розділяли між собою та по периметру двома буферними рядами бука лісового місцевого походження [16].

На час дослідження, у віці 28 років, географічним культурам бука лісового характерні такі усереднені таксаційні показники: середній діаметр на висоті 1,3 м – 11,8 см, середня висота – 13,8 м, абсолютна повнота – 20,7 м²/га, загальна кількість дерев на досліджуваній ділянці – 3967 шт., кількість дерев на 1 га 1889 – шт., запас – 147,3 м³/га.

Під час обстеження кожної провенієнції бука лісового визначали його збереженість як відношення кількості дерев на час дослідження до початкової кількості висаджених рослин. Унаслідок було встановлено, що на час дослідження, у віці 28 років, збереглися 3967 дерев, що становить 37,8 % від початкової густоти географічних культур (рис. 1).

Розглядаючи показник збереженості досліджуваних провенієнцій як основний критерій для оцінювання їх рівня біологічної стійкості у віці 28 років, можна стверджувати, що переважна більшість походжень бука лісового в умовах Українського Розточчя здатна формувати біологічно стійкі насадження.

Проаналізувавши отримані дані, можна зазначити значні відмінності між провенієнціями. Зокрема, різниця між найкраще та найгірше збереженими походженнями становить від 37 до 76 дерев, що відповідає 24,7-50,7 % від початкової кількості висаджених дерев. Ці відмінності притаманні провенієнціям 8952 (Гермескайл, Німеччина), 9054 (Криница, Польща) та 8958 (Бовенден, Німеччина).

Таксаційні показники, які ми отримали, дали змогу порівняти різні провенієнції за такими параметрами, як середня висота, середній діаметр, абсолютна повнота та запас на ділянці (рис. 2, 3). Ці дані відображають загальну характеристику насаджень і дають змогу виділити якісно кращі та менш продуктивні походження бука лісового.

Аналізуючи визначені таксаційні показники різних походжень бука лісового, можна стверджувати про істотні відмінності у їх рості за діаметром та висотою. Так, порівняння провенієнцій за середнім діаметром виявляє варіювання їх значень від 9,2 см (провенієнція 9007 (Кладска, Чехія)) до 14,1 см (провенієнція 8945 (Тренк, Словаччина)), а відносно середнього діаметра деревостану всіх провенієнцій, наведених у географічних культурах (11,8 см), варіабельність становить від 78,0 до 119,5 %. Стосовно середньої висоти, то між найменшим та найбільшим значеннями різниця становить 4,9 м, зокрема – від 11,6 м (провенієнція 8948 (Смоленіце, Словаччина)) до 16,5 м (провенієнція U9 (Воловець, Україна)).

Звичайно, що через таку значну різницю значень середніх діаметрів і висот деревостанів різних провенієнцій, аналогічну ситуацію простежено із запасом деревини. Зокрема, найменший запас (74,3 м³/га) притаманний походженню U7 (Свалєва-2, Україна), а найбільший (262,3 м³/га) – 8940 (Остенгольд-Шармбек, Німеччина), відображаючи різницю аж у 3,53 раза. Подібну ситуацію відзначено і з абсолютною повнотою, яка варіює від 10,7 м²/га для провенієнції U7 (Свалєва – 2, Україна) до 32,7 м²/га для провенієнції 8945 (Тренк, Словаччина).

Оскільки на досліджуваних експериментальних культурах представлено 70 різних походжень бука лісового із 10 країн Європи, було встановлено їх збереженість за країнами походження (табл. 1).

Табл. 1. Збереженість провенієнцій за країнами їх походження / Conservation of provenance by country of origin

Країна походження	Кількість представлених провенієнцій	Кількість дерев, шт.		Збереженість, %
		на час дослідження	початкова	
Польща	11	615	1650	37,3
Німеччина	31	1744	4650	37,5
Україна	13	702	1950	36,0
Данія	2	132	300	44,0
Іспанія	1	56	150	37,3
Італія	1	67	150	44,7
Молдова	1	70	150	46,7
Словаччина	5	276	750	36,8
Франція	3	193	450	42,9
Чехія	2	112	300	37,3
Разом	70	3967	10500	37,8

Показники збереженості походжень бука лісового за країнами походження виявляють варіацію на рівні 10,7 %. Так, більшість провенієнцій з Польщі, Німеччини,

Іспанії, Словаччини, Чехії та України збереглися на рівні близько 37-38 % дерев, що є середнім показником у розглянутому діапазоні. Але варто окремо відзначити різницю у збереженості між провенієнціями з країн, де панує теплий клімат, такими як Італія, Молдова та Франція, де рослини збереглися значно краще за інші: 44,7, 46,7 та 42,9 % відповідно, що перевищує середні показники на 5,1-8,9 %. Натомість походження із України та Словаччини показали найнижчий рівень збереженості на рівні 36,0 та 36,8 % відповідно.

Окремо варто звернути увагу на таксаційні показники провенієнцій, залежно від країни походження (табл. 2). Порівнюючи середню висоту та середній діаметр дерев за країнами походження, можна відзначити значну різницю між показниками. Зокрема, мінімальна середня висота характерна для провенієнцій із Словаччини (13,6 м), тоді як максимальна притаманна провенієнціям із Молдови (14,5 м). Порівнюючи середні діаметри, встановлено, що мінімальне значення характерне для провенієнцій з Іспанії (10,2 см), а максимальне відзначене для провенієнцій із Молдови (12,5 см).

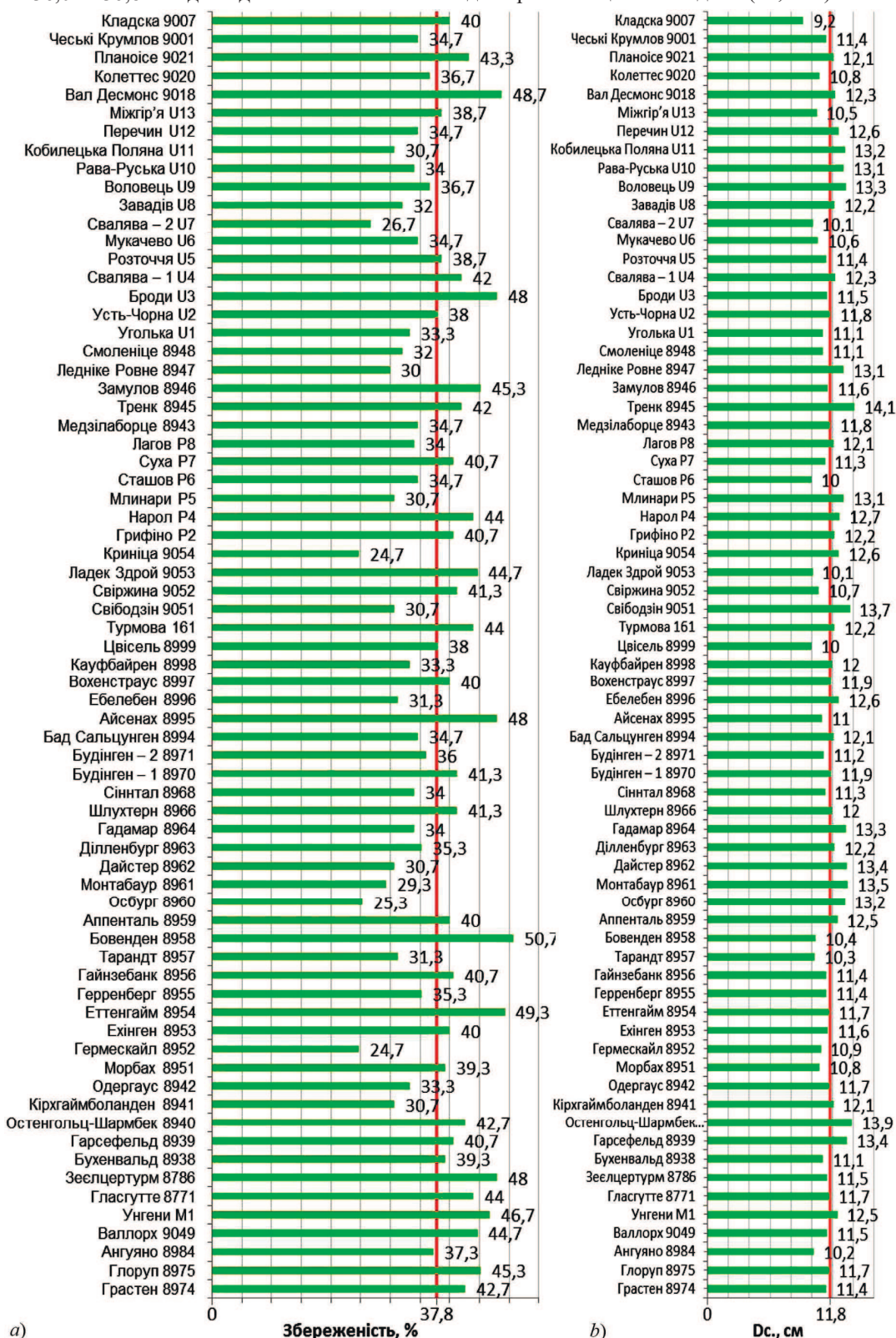


Рис. 1. Збереженість провенієнцій бука лісового / Conservation of European beech provenance (a); показники середніх діаметрів провенієнцій / Indicators of average diameters of provenance (b)

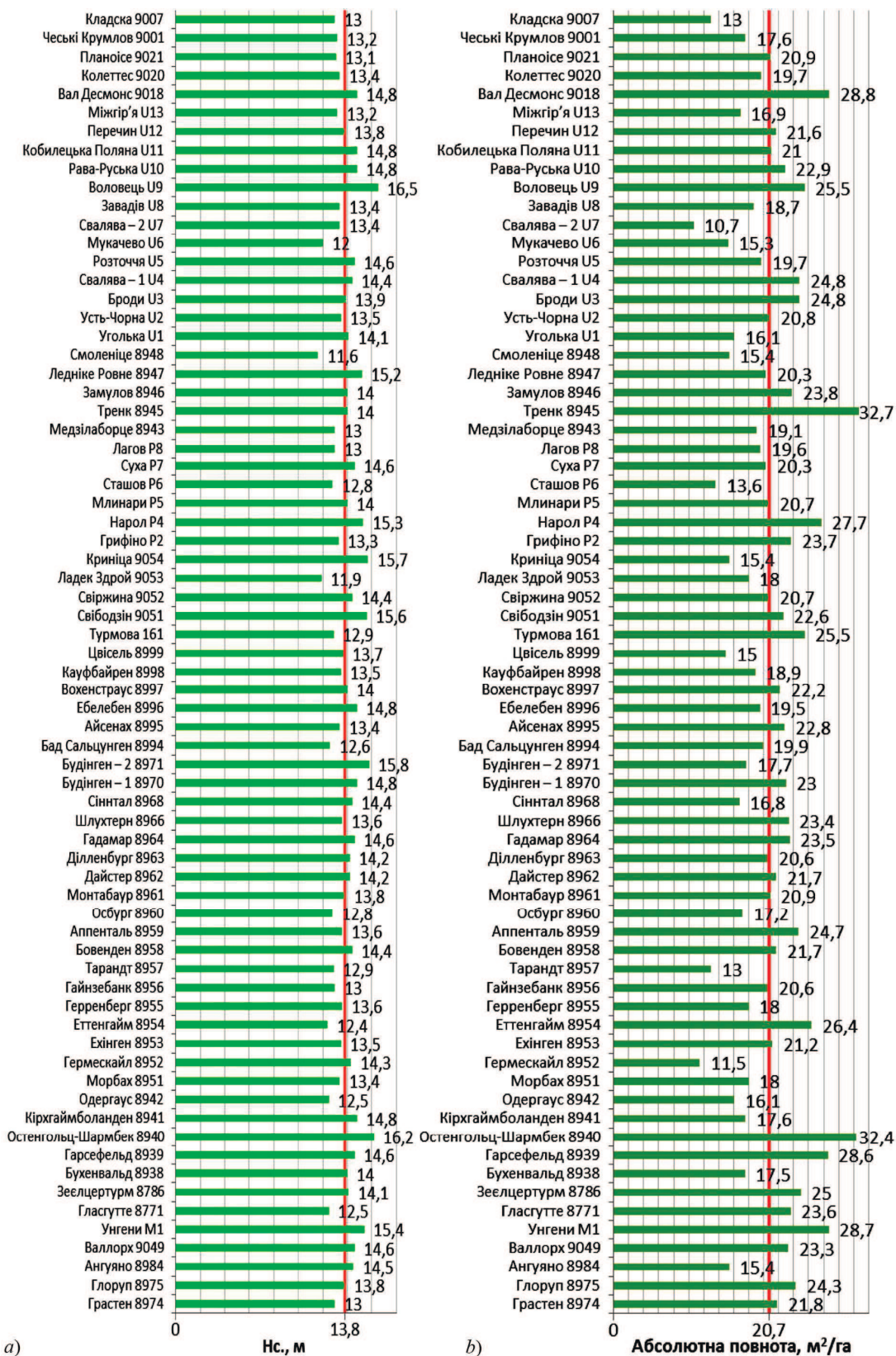


Рис. 2. Показники середніх висот провенієнцій / Indicators of average heights of provenance (a); показники абсолютних повнот провенієнцій / Indicators of absolute completeness of provenance (b)

Треба зазначити, що провенієнції із Молдови виділяються і найбільшими значеннями як за абсолютною (28,7 м²/га), так і відносною (0,9) повнотами. Натомість провенієнції з Чехії мають найнижчі значення цих показників – абсолютна повнота становить 15,3 м²/га, а відносна – 0,5. Аналогічна ситуація із показником запасу деревостану на 1 га, а саме у провенієнцій із Молдови він найвищий (211,7 м³/га), а у провенієнцій із Чехії найнижчий, а саме 109,1 м³/га.

Отже, отримані нами дані дають змогу оцінити збереженість різних провенієнцій бука лісового в умовах географічних культур Українського Розточчя та порівняти їх показники росту. Ці дані відображають загальну характеристику насаджень і дають змогу виділити менш продуктивні походження бука лісового та якісно кращі, які здатні формувати біологічно стійкі насадження в умовах Українського Розточчя.

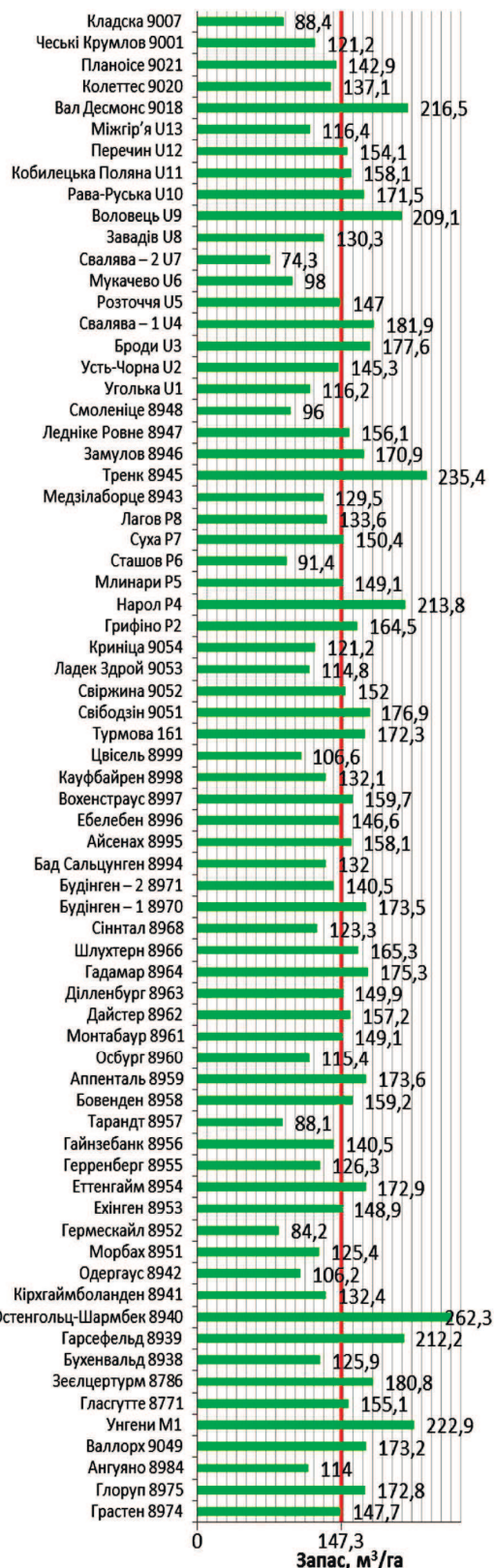


Рис. 3. Показники запасів провенієнцій / Provenance stock indicators

Обговорення результатів дослідження. У працях учених [1, 2] зазначено про значну варіабельність рослин бука лісового у плані адаптаційних та ростових процесів, а також вплив географічного походження та висоти зростання на життєздатність популяції. Такі дослідження було проведено як у південній частині ареалу досліджуваного виду [1], так і на північно-східній межі поширення [2], що, швидше за все, могло зумовити певні розбіжності в отриманих результатах.

Табл. 2. Таксаційні показники провенієнцій за країнами їх походження / Taxation indicators of provenance by country of origin

Країна	$D_{\text{сер, см}}$	$H_{\text{сер, м}}$	Абсолютна повнота, $\text{м}^2/\text{га}$	Відносна повнота	Запас, $\text{м}^3/\text{га}$
Данія	11,5	14,2	23,0	0,8	167,8
Іспанія	10,2	13,8	15,4	0,5	109,8
Італія	11,5	14,2	23,3	0,8	169,8
Молдова	12,5	14,5	28,7	0,9	211,7
Німеччина	11,9	14,3	20,6	0,7	150,9
Польща	11,8	14,3	20,7	0,7	151,5
Словаччина	12,3	13,6	22,2	0,7	164,0
Україна	11,9	14,3	19,9	0,7	145,7
Франція	11,7	14,3	23,1	0,8	169,0
Чехія	10,3	13,9	15,3	0,5	109,1

Автори [37] проаналізували тенденції росту досліджуваного виду на ширшому діапазоні його ареалу. Зокрема, тут встановлено тенденцію до зниження росту у центрі ареалу через посушливі умови і навпаки, зазначено високу стійкість бука лісового на краю свого ареалу, що й доповнює попередні дослідження та акцентує увагу на значному впливі екологічних факторів на збереження різноманітності.

Дослідження показників росту та фенології бука лісового було здійснено на 38 випробувальних ділянках, зокрема, у двох послідовних серіях (1993/95 та 1996/98), де представлено 217 його походжень, що охоплюють весь ареал досліджуваного виду. Отримані дані стосувались 862 095 дерев у віці від 2-15 років і вони відображають дуже значну, як генетичну, так і фенотипову варіацію виду, що відповідно дає можливість встановити стійкіші та адаптованіші генотипи до відповідних кліматичних умов [34].

Автори у роботі [43] зазначають, що рослини із помірного кліматичного поясу завдяки своїй фенотиповій мінливості та природному відбору можуть адаптовуватись до кліматичних змін. Було проаналізовано періоди розпускання листків у дерев бука лісового 50 походжень, які зростають на 7 експериментальних ділянках. Отримані дані свідчили, що досліджуваний вид може сповільнити весняні фенологічні процеси, а відповідно знизити ризики, спричинені весняними заморозками, тобто адаптуватись.

Дослідження зміни ареалу бука лісового в історичному аспекті у двох різних часових періодах (350-300 рр. до н. е. та 150-100 рр. до н. е.) було проведено у центральній Італії. З цієї метою вчені у роботі [3] аналізували обвуглені деревні залишки. Унаслідок встановлено, що зміна клімату значно зменшувала ареал поширення досліджуваного виду.

У роботі [23] виконано дослідження генетичної адаптації до кліматичних змін, які охоплюють 58 різних видів дерев. Виявлено, що здатність адаптації до певного клімату зазвичай є притаманною більшості охоплених видів (79 %), зокрема і для досліджуваного. Відповідно зроблено висновки про те, що подальшу частку лісів визначатиме саме генетична пластичність видів, яку на цей час, ще не досліджено повністю.

У праці вчених [29] висвітлено генетичні аспекти адаптаційних властивостей бука лісового. Досліджено одонуклеотидні зміни у генах, які пов'язані з фазою розпускання бруньок досліджуваного виду у 47 різних популяціях Європи. Підтверджено, що кліматичні умови мають вкрай важливе значення на формування генетичного поліморфізму генів, які контролюються фено-

логією, а відповідно й можуть впливати на локальні адаптаційні процеси цього виду.

У роботі [10] проаналізовано асоціації SNP (англ. *Single Nucleotide Polymorphism*) у межах усього геному, який виявляє геномну сигнатуру локальної адаптації в природних популяціях європейського бука (*Fagus sylvatica* L.). Автори вважають, що розуміння динаміки та механізмів локальної адаптації в природних популяціях забезпечує основу для прогнозування реакцій на зміни навколишнього середовища, включаючи ті, що пов'язані з глобальною зміною клімату. Європейський бук (*Fagus sylvatica* L.) є одним з найбільш економічно та екологічно важливих листяних дерев у Європі. Проте мало що відомо про його геномне адаптивне різноманіття та адаптивний потенціал. Генетичну диференціацію в букових місцях, пов'язану з адаптацією до навколишнього середовища, оцінювали шляхом генотипування 1384 однонуклеотидних поліморфізмів (SNP) у генах-кандидатах. Дослідження містило 153 особини бука з 12 популяцій, розташованих в Італії, Словенії та Хорватії, з різноманітними біогеокліматичними умовами. Для ідентифікації локусів зі значними кореляціями з біокліматичними показниками використовували метод диференціації на основі PCA та Fst (PCAdapt та LEA), а також два різні підходи до аналізу екологічних асоціацій (Latent Factor Mixed Model та Samβada). Результати, отримані в цьому дослідженні, дали змогу авторам визначити ознаки регіональної та локальної адаптації до навколишнього середовища. Для кожної досліджуваної популяції спостерігалися специфічні закономірності локальної адаптації. Вони визначили алельні варіанти, пов'язані з реакцією на коливання опадів та періоди посухи протягом вегетаційного періоду. Особливо цікавим є спостереження за відмінностями в наявності та впливі алельних варіантів між різними ділянками, ймовірно, через адаптацію до місцевого середовища та різну історію лісівництва кожної спостережуваної популяції.

Унаслідок обговорення результатів дослідження можна зробити висновок про те, що встановлення збереженості дерев кожної з провенієнцій бука лісового та їх основних біометричних показників є актуальною проблемою, яку вирішують вітчизняні та закордонні науковці в межах Міжнародної програми "Оцінка генетичних ресурсів бука у Європі", а їхні сукупні розроблення дають змогу виявити потенціал бука лісового в разі перенесення його репродуктивного матеріалу на значні відстані у відмінні за ключовими параметрами природні умови та підтвердити значну генетичну пластичність досліджуваного виду під час адаптації рослин до змін клімату.

Отже, внаслідок виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – отримала подальший розвиток методика комплексного дослідження основних показників росту різних провенієнцій бука лісового в умовах географічних культур Українського Розточчя, яка дає змогу підтвердити значну генетичну пластичність досліджуваного виду під час його адаптації до змін клімату.

Практична значущість результатів дослідження – отримані результати дослідження можна застосовувати для створення у майбутньому біологічно стійких і висо-

копродуктивних насаджень бука лісового, використовуючи відповідний, селекційно цінний репродуктивний матеріал.

Висновки / Conclusions

Здійснено порівняльне оцінювання основних показників росту і збереженості місцевих та інорайонних провенієнцій бука лісового, що дало змогу виявити найпластичніші з них для перспективи їх штучного культивування в умовах географічних культур Українського Розточчя. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. Визначено, що загалом збереженість дерев бука лісового у географічних культурах Розточчя у віці 28 років перебуває на рівні 37,8 % від початкової їх густоти. Зокрема, найменше рослин, тільки 24,7 %, збереглися із походжень 9054 (Криниця, Польща) та 8952 (Гермескайл, Німеччина), а найбільше (50,7 %) притаманне провенієнції 8958 (Бовенден, Німеччина).
2. Встановлено значну варіабельність показників росту деяких провенієнцій досліджуваного виду. Найбільшим середнім діаметром (14,1 см) характеризується походження 8945 (Тренк, Словаччина), середньою висотою (16,5 м) – U9 (Воловець, Україна) та запасом (262,3 м³/га) – 8940 (Остенгольц-Шармбек, Німеччина).
3. Отримана інформація дає змогу проаналізувати зростання провенієнцій різного походження у природних умовах Українського Розточчя та порівняти, як впливає переміщення репродуктивного матеріалу відносно їх географічного походження на ріст, розвиток та збереженість. У майбутньому ці дані можна використати для створення стійких та продуктивних букових лісів та раціонального ведення лісового господарства в сучасних умовах глобального потепління. Дослідження цього питання з кожним роком стає дедалі важливішим, а результати виконаного дослідження – цінними у практичному застосуванні.

References

1. Barzdajn, W. (2018). Common beech (*Fagus sylvatica* L.) of Polish provenances in experiments established in 1993 in the Oleszyce and Baligród forest districts. *Sylwan*, 162(5), 387–95. <https://doi.org/10.26202/sylwan.2018025>
2. Bolte, A., Czajkowski, T., & Kompa, T. (2007). The north-eastern distribution range of European beech – a review. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 80(4), 413–429. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpm028>
3. Buoincontri, M. P., et al. (2023). Shedding light on the effects of climate and anthropogenic pressures on the disappearance of *Fagus sylvatica* in the Italian lowlands: evidence from archaeo-anthracology and spatial analyses. *Science of The Total Environment*, 877, article ID 162893. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162893>
4. Cavin, L., & Jump, A. S. (2016). Highest drought sensitivity and lowest resistance to growth suppression are found in the range core of the tree *Fagus sylvatica* L. not the equatorial range edge. *Global Change Biology*, 23(1), 362–379. <https://doi.org/10.1111/gcb.13366>
5. Deegan, I. I., & Skobalo, O. S. (2010). Phenological variability of European beech ecotypes in the provenance trial under the conditions of Lviv Roztochchia. *Scientific Bulletin of UNFU*, 20(16), 144–154. [In Ukrainian]. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2010/20_16/144_Del.pdf
6. Delehan, I. I. (2005). Survival of different provenances of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in provenance trial in Roztochchia. *Scientific Bulletin of UNFU*, 15(4), 34–38. [In Ukrainian]. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2005/15_4/index.htm
7. Di Filippo, A., Biondi, F., Čufar, K., de Luis, M., Grabner, M., Maugeri, M., et al. (2007). Bioclimatology of beech (*Fagus sylvatica* L.) in the eastern Alps: spatial and altitudinal climatic signals

- identified through a tree-ring network. *Journal of Biogeography*, 34, 1873–1892. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01747.x>
8. Eilmann, B., Sterck, F., Wegner, L., de Vries, S. M., von Arx, G., Mohren, G. M., et al. (2014). Wood structural differences between northern and southern beech provenances growing at a moderate site. *Tree Physiology*, 34, 882–893. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpu069>
 9. Garamszegi, B., Kazmer, M., Kolozs, L., & Kern, Z. (2020). Changing climatic sensitivity and effects of drought frequency on the radial growth of *Fagus sylvatica* at the xeric frontiers of Central Europe. *Quarterly Journal of Hungarian Meteorological Service*, 124, 227–251. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2020.2.5>
 10. Garosi, Cesare, Vettori, Cristina, Arcidiaco, Lorenzo, Bajc, Marko, Kraigher, Hojka, et al. (2025, August). Genome-wide SNP association analysis reveals the genomic signature of local adaptation in natural populations of European beech (*Fagus sylvatica* L.). *Trees, Forests and People*, article ID 100981. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2025.100981>
 11. Goroshko, M. P., & Khomyuk, P. G. (2000). Forest Taxation. Lviv: Ukrainian State Forestry University, 132. [In Ukrainian].
 12. Grechanyk, R. M., Marutiak, S. B., & Lisovyi, M. M. (2004). Physico-chemical properties of soils in the provenance test trial of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in Roztochchia. *Scientific Bulletin of UNFU*, 14(5), 15–20. [In Ukrainian]. URL: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2004/14_5/47.pdf
 13. Hamrick, J. L. (2004). Response of forest trees to global environmental changes. *Forest Ecology and Management*, 197(1–3), 323–335. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.05.023>
 14. Harter, D., Nagy, L., Backhaus, S., & Beierkuhnlein, C. (2015). A Comparison of Genetic Diversity and Phenotypic Plasticity among European Beech (*Fagus sylvatica* L.). Populations from Bulgaria and Germany under Drought and Temperature Manipulation. *International Journal of Plant Sciences*, 176(3), 232–244. URL: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/full/10.1086/679349>
 15. Harvey, J. E., Smljanic, M., Scharnweber, T., Buras, A., Cedro, A., Cruz-Garcia, R., et al. (2019). Tree growth influenced by warming winter climate and summer moisture availability in northern temperate forests. *Global Change Biology*, 26, 2505–2518. <https://doi.org/10.1111/gcb.14966>
 16. Ivaniuk, A., & Zaitsev, B. (2024). Current status of European beech (*Fagus sylvatica* L.) provenance trial in the conditions of Lviv Roztochchia. In: *Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference: Basic, Less Common and Nontraditional Plant Species – from Study to Implementation*. Kruty. Ukraine: 52–56. [In Ukrainian]. URL: <https://ovoch.com/assets/files/conference/tezu/tom-2-osnovni-2024.pdf#page=52>
 17. Jezik, M., Blazenec, M., Kucera, J., Strelcova, K., & Ditmarova, L. (2016). The response of intra-annual stem circumference increase of young European beech provenances to 2012–2014 weather variability. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 9, 960–969. <https://doi.org/10.3832/ifor1829-009>
 18. Kempf, M., & Konnert, M. (2016). Distribution of genetic diversity in *Fagus sylvatica* at the north-eastern edge of the natural range. *Silva Fennica*, 50(4), 17. <https://doi.org/10.14214/sf.1663>
 19. Klisz, M., Buttò, V., Rossi, S., Morin, H., & Jastrzebowski, S. (2019). Intra-annual stem size variations converge across marginal populations of European beech. *Trees*, 34, 255–265. <https://doi.org/10.1007/s00468-019-01915-5>
 20. Konnert, M., & Ruetz, W. (2003). Influence of nursery practices on the genetic structure of beech (*Fagus sylvatica* L.) seedling populations. *Forest Ecology and Management*, 184(1–3), 193–200. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00206-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00206-8)
 21. Kramer, K., Degen, B., Buschbom, J., Hickler, T., Thuiller, W., & Sykes M. (2010). Modelling exploration of the future of European beech (*Fagus sylvatica* L.) under climate change-Range, abundance, genetic diversity and adaptive response. *Forest Ecology and Management*, 259(11), 2213–2222. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.12.023>
 22. Krynytskyi, H., Pavlyuk, N., & Jachnytskyi, V. (2017). Modern forest fund of European beech in the Ukrainian Roztochchy. *Scientific works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 15, 11–18. <https://doi.org/10.15421/41170>
 23. Leites, L., & Garzón, M. V. (2023, September). Forest tree species adaptation to climate across biomes: Building on the legacy of ecological genetics to anticipate responses to climate change. *Global Change Biology*, 29(17), 4711–4730. <https://doi.org/10.1111/gcb.16711>
 24. Lena, M., Weigel, R., Kreyling, J., & Klisz, M. (2018). Winter matters: Sensitivity to winter climate and cold events increases towards the cold distribution margin of European beech (*Fagus sylvatica* L.). *Journal of Biogeography*, 45(12), 2779–2790. <https://doi.org/10.1111/jbi.13444>
 25. Liesebach, M., Liepe, K. J., Šeho, M., et al. (2023). Ergebnisse aus dem Internationalen Buchenherkunftsversuch 1996/98 von den Versuchsflächen in Deutschland [Results from German test sites of the international beech provenance trial 1996/98]. *Thünen Rep*, 105, 97–127. URL: <https://ageconsearch.umn.edu/record/334337/files/dn066221.pdf>
 26. Martinez del Castillo, E., Prislan, P., Gričar, J., Gryc, V., Merela, M., Giagli, K., et al. (2018). Challenges for growth of beech and co-occurring conifers in a changing climate context. *Dendrochronologia*, 52, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.09.001>
 27. Martinez del Castillo, E., Zang, C. S., Buras, A., et al. (2022). Climate-change-driven growth decline of European beech forests. *Communications Biology*, 5(1), 163 p. <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03107-3>
 28. Matyas, C., Bozic, G., Gomory, D., Ivankovic, M., & Rasztovits, E. (2009). Juvenile growth response of European beech (*Fagus sylvatica* L.) to sudden change of climatic environment in SE European trials. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 2, 213–220. <https://doi.org/10.3832/ifor0519-002>
 29. Meger, J., Ulaszewski, B., & Burczyk, J. (2021). Genomic signatures of natural selection at phenology-related genes in a widely distributed tree species *Fagus sylvatica* L. *BMC Genomics*, 22, article number: 583 (2021). <https://doi.org/10.1186/s12864-021-07907-5>
 30. Mohytych, V., Ivaniuk, A., Lisovyi, M., Danchuk, O., Delehan, I., Holubchak, O., & Liesebach, M. (2024). Current status of International beech Provenance Trial in Ukraine (Bu19 19) from the 1993/95 series started by Institute of Forest genetics, großhansdorf. *Folia Forestalia Polonica*, 66(3), 261–269. <https://doi.org/10.2478/ffp-2024-0019>
 31. Muffler, L., Weigel, R., Hacket-Pain, A. J., Klisz, M., Maaten, E., Wilmsing, M., et al. (2020). Lowest drought sensitivity and decreasing growth synchrony towards the dry distribution margin of European beech. *Journal of Biogeography*, 47, 1910–1921. <https://doi.org/10.1111/jbi.13884>
 32. Prislan, P., Gričar, J., Čufar, K., de Luis, M., Merela, M., & Rossi, S. (2019). Growing season and radial growth predicted for *Fagus sylvatica* under climate change. *Climatic Change*, 153, 181–197. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02374-0>
 33. Puriņa, L., Matisons, R., Jansons, Ā., & Šēnhofa, S. (2016). Survival of European beech in the central part of Latvia 33 years since the plantation. *Silva Fennica*, 50(4), 34–40. <https://doi.org/10.14214/sf.1656>
 34. Robson, T. M., & Garzón, M. V. (2018). Phenotypic trait variation measured on European genetic trials of *Fagus sylvatica* L. *Scientific Data*, 5, article ID 180149. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.149>
 35. Šimůnek, V., Vacek, Z., Vacek, S., Králíček, I., & Vančura, K. (2019). Growth variability of European beech (L.) natural forests: dendroclimatic study from Krkonoše National Park. *Central European Forestry Journal*, 65, 92–102. <https://doi.org/10.2478/forj-2019-0010>
 36. State Forest Resources Agency of Ukraine. URL: <https://forest.gov.ua/>
 37. Stojanović, D., Levanič, T., Matović, B., Stjepanović, S., & Orlović, S. (2018). Growth response of different tree species (oaks, beech and pine) from SE Europe to precipitation over time. *Dendrobiology*, 79, 97–110. <https://doi.org/10.12657/denbio.079.009>
 38. Sulkowska, M. (2010). Genetic and Ecotype Characterization of European Beech (*Fagus sylvatica* L.) in Poland. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 6(6), 115–122. <https://doi.org/10.37045/aslh-2010-0009>

39. Sulkowska, M. (2011). Conservation of genetic resources of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in Poland. *Communicationes Instituti Forestalis Bohemicae*, 25, 184–190. URL: <https://www.vulhm.cz>
40. Takhtajan, A. L. (2009). Flowering Plants. 2nd ed. New York: Springer, 906. URL: <https://docs.google.com/file/d/0B3A8pmAgeNOoOFZjOTBnSXNiMTA/edit?resourcekey=0-2RAFxHqUffgJhUDbFywsPw>
41. Trouillier, M., van der Maaten-Theunissen, M., Scharnweber, T., Würth, D., Burger, A., Schnittler, M., et al. (2018). Size matters – a comparison of three methods to assess age- and size-dependent climate sensitivity of trees. *Trees*, 33, 183–192. <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1767-z>
42. Vitasse, Y., Bresson, C. C., Kremer, A., Michalet, R., & Delzon, S. (2010). Quantifying phenological plasticity to temperature in two temperate tree species. *Functional Ecology*, 24, 1211–1218. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01748.x>
43. Wang, H., Lin, S., Dai, J., & Ge, Q. (2022). Modeling the effect of adaptation to future climate change on spring phenological trend of European beech (*Fagus sylvatica* L.). *Science of the Total Environment*, 846, article ID 157540. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157540>
44. Weigel, R., Muffler, L., Klisz, M., Kreyling, J., van der Maaten-Theunissen, M., Wilmking, M., et al. (2018). Winter matters: sensitivity to winter climate and cold events increases towards the cold distribution margin of European beech (*Fagus sylvatica* L.). *Journal of Biogeography*, 45, 2779–2790. <https://doi.org/10.1111/jbi.13444>
45. Zaitsev, B., & Ivaniuk, A. (2023). Provenance trial of European beech in the conditions of Lviv Roztochchia. Proceedings of the All-Ukrainian Scientific-Practical Conference of University Candidates and Young Scientists The state and future of forestry, woodworking, and land management. Kharkiv. Ukraine, 96–97. [In Ukrainian]. URL: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/43571>

A. P. Ivaniuk, M. M. Lisovyi, O. T. Danchuk

Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine

BIOLOGICAL RESISTANCE AND MAIN GROWTH INDICATORS OF *FAGUS SYLVATICA* L. UNDER CONDITIONS OF GEOGRAPHICAL CROPS OF THE UKRAINIAN ROZTOCHCHIA

In Ukraine, beech forest occupies 7 % of the forested area and ranks fourth among forest-forming species, establishing pure and mixed stands in mountainous and plain conditions in the west of the country. In the territory of the Ukrainian Roztochchya, the studied species grows on an area of 12,810 hectares, which is 28.4 % of the entire forest fund of the region. The studied International Beech Provenance Trial were created in the spring of 1995 on the territory of the Stradch Educational-Industrial Forestry Complex, which is a structural unit of Ukrainian National Forestry University. This initiative is implemented within the framework of the International Program "Assessment of Beech Genetic Resources in Europe" under the coordination of the Institute of Forest Genetics (Germany) and covers the conditions of the Ukrainian Roztochchya. Within the framework of this program, a single unified methodology was used, thanks to which a network of geographical beech cultures was created in 23 points of Europe, covering 17 countries. The Ukrainian part of the experiment includes a total of 70 provenance from 10 European countries. In particular, these are 13 Ukrainian provenance of forest beech, 31 provenance from Germany, 11 from Poland, 5 from Slovakia, 3 from France, 2 each from Denmark and the Czech Republic, and one each from Italy, Spain and Moldova. The experimental studies we conducted allowed us to establish that after reaching the age of 28 years, 37.8 % of all planted trees remained in the experimental geographic cultures. Significant differences between individual origins were established. Thus, the lowest tree survival rate is characteristic of provenance 8952 (Hermeskeil, Germany) and 9054 (Krynica, Poland) – 24.7 %, and the highest – for origin 8958 (Bovenden, Germany), where this indicator is 50.7 % of the initial number. Quite significant differences in the origins of forest beech by individual taxonomic indicators (diameter and height) were also revealed. It was established that the differentiation between specific provenances by average diameter varies from 9.2 cm (9007, Kladská, Czech Republic) to 14.1 cm (8945, Trenk, Slovakia). As for the average height, the fluctuations here range from 11.6 m (8948, Smolenice, Slovakia) to 16.5 m (U9, Volovets, Ukraine). It should also be noted that the reserve varies in the range of 74.3 m³/ha (U7, Svalyava-2, Ukraine) to 262.3 m³/ha (8940, Ostenholz-Sharmbeck, Germany). It can be argued that genetic diversity and adaptive plasticity play a decisive role in the survival and adaptation of European beech to climate change. The collected experimental data make it possible to assess the level of biological stability and key growth indicators of European beech provenance presented in the conditions of the Ukrainian Roztochchya.

Keywords: European beech; provenance; ecotype; tree conservation; taxonomic indicators.