

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

БАДЕНКО АНДРІЙ СЕРГІЙОВИЧ

УДК 630.228:581.1 (477.46)

ДИСЕРТАЦІЯ

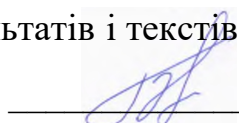
**ОСОБЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ САДЖАНЦІВ ЯЛИНИ
КОЛЮЧОЇ (ФОРМА БЛАКИТНА) З СТЕБЛОВИХ ЖИВЦІВ У
ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

205 Лісове господарство

20 Аграрні науки та продовольство

Подається на здобуття ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 А.С. Баденко

Науковий керівник: Коваль Сергій Анатолійович, кандидат
сільськогосподарських наук, доцент.

Умань – 2026

АНОТАЦІЯ

Баденко А. С. Особливості вирощування саджанців ялини колючої (форма блакитна) з стеблових живців у Правобережному Лісостепу України.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 20 «Аграрні науки та продовольство» за спеціальністю 205 Лісове господарство. – Уманський національний університет, Умань, 2026.

Дисертаційну роботу присвячено комплексному дослідженню та науковому обґрунтуванню елементів технології вегетативного розмноження ялини колючої (форма блакитна) в умовах Правобережного Лісостепу України. У роботі проаналізовано біологічні особливості ризогенезу стеблових живців під впливом регуляторів росту різних препаративних форм, визначено оптимальні умови вкорінення та подальшого дорощування садивного матеріалу у відкритому ґрунті, а також розроблено рекомендації щодо використання отриманих рослин в озелененні.

Структура дисертації зумовлена метою, завданнями та логікою проведеного дослідження. Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі дисертаційної роботи здійснено комплексний аналіз ботанічних, екологічних і фізіолого-біохімічних особливостей ялини, а також систематизовано сучасні наукові підходи до її вегетативного розмноження.

Розглянуто систематичне положення виду, морфологічні та біологічні особливості, а також історію інтродукції та сучасне використання в декоративному садівництві. Встановлено, що *Picea pungens* f. *glauca* є представником родини Pinaceae, який характеризується високим рівнем адаптації до несприятливих умов середовища, зокрема низьких температур, дефіциту вологи та інтенсивного сонячного випромінювання. Проаналізовано

природний ареал виду, що охоплює гірські регіони Північної Америки, де сформувалися його ключові адаптивні ознаки. Відзначено, що сизо-блакитне забарвлення хвої є не лише декоративною, але й важливою фізіологічною ознакою, пов'язаною зі зменшенням транспірації та підвищенням стійкості до абіотичних стресів.

Окрему увагу приділено морфологічним характеристикам рослини, включаючи будову крони, пагонів, хвої, кори, генеративних органів та кореневої системи. Обґрунтовано значення *Picea pungens* f. *glausa* як однієї з провідних хвойних культур у міському озелененні, зокрема в умовах Правобережної України, де вона широко використовується завдяки високій екологічній пластичності та декоративності.

Підкреслено складність процесу ризогенезу у хвойних, що обумовлює потребу у науковому обґрунтуванні технологій укорінення.

Узагальнено сучасні уявлення про вплив основних екологічних факторів: температури, вологості та субстрату – на ріст, розвиток і процес укорінення живців *Picea pungens* f. *glausa*. Визначено оптимальні температурні діапазони для росту рослин та для індукції адвентивного коренеутворення, а також показано негативний вплив як низьких, так і надмірно високих температур на процеси калусоутворення і ризогенезу.

Детально проаналізовано роль вологості як одного з визначальних факторів життєдіяльності рослин і успішності укорінення живців. Показано, що оптимальний водний режим забезпечує підтримання тургору клітин, інтенсивність метаболічних процесів і формування кореневих примордіїв, тоді як дефіцит, так і надлишок вологи призводять до пригнічення росту та підвищення ризику загибелі живців.

Розглянуто вплив субстрату як комплексного фактора, що визначає фізичні та хімічні умови розвитку кореневої системи. Встановлено, що субстрати повинні поєднувати високу здатність утримувати вологу із достатньою повітропроникністю. Узагальнено результати сучасних досліджень щодо ефективності різних сумішей субстрату.

Проаналізовано фізіолого-біохімічні механізми адвентивного коренеутворення та роль стимуляторів росту у цьому процесі. Показано, що ефективність укорінення залежить не лише від концентрації екзогенних стимуляторів, але й від фізіологічного стану живців, їх морфологічної структури, віку та умов вирощування. Узагальнено сучасні наукові підходи до застосування регуляторів росту для підвищення ризогенезу у живців хвойних, що має важливе значення для розробки ефективних технологій розмноження *Picea pungens*.

Наведено характеристику ґрунтово-кліматичних умов Правобережного Лісостепу України, в яких проводилися експериментальні дослідження, а також описано об'єкт і предмет дослідження. Висвітлено умови вирощування та укорінення стеблових живців *Picea pungens* f. *glauca* у полікарбонатній теплиці, включаючи параметри температурного режиму, вологості повітря, освітлення та субстрату.

Детально представлено методику проведення досліджень, що охоплює схеми дослідів із використанням різних стимуляторів ризогенезу (індолілмасляної та нафтилоцтової кислот, препаратів Rhizopon і Clonex), варіацію їх концентрацій і тривалості обробки живців. Описано порядок заготівлі, підготовки та висаджування живців, а також методи обліку показників укорінення і росту рослин.

Для обробки результатів застосовано методи математичної статистики, зокрема одно- та двофакторний дисперсійний аналіз, що забезпечило достовірну оцінку впливу досліджуваних факторів на процес адвентивного ризогенезу.

Наведено результати трирічних експериментальних досліджень (2023–2025 рр.), спрямованих на встановлення впливу типу, концентрації та тривалості дії ауксинових препаратів на укорінення стеблових живців *Picea pungens* f. *glauca*. Встановлено, що природний рівень укорінення є низьким і в контролі становив у середньому 4,4–5,6 %.

Показано, що застосування індоліл-3-масляної кислоти (ІМК) істотно підвищує ефективність ризогенезу. Максимальний вихід укорінених живців 28,9 % отримано за концентрації 150 мг/л і 6-годинної експозиції, що більш ніж у 6 разів перевищує контроль. За концентрації 100 мг/л оптимальним був режим 12-годинного замочування, за якого показник укорінення досягав 25,6 %, тоді як подовження обробки до 24 годин призводило до зниження показників. Встановлено, що тривала експозиція за високої концентрації (150 мг/л, 24 год) різко пригнічує укорінення до 5,6 %, що свідчить про фітотоксичний ефект.

Аналогічна закономірність встановлена для нафтилоцтової кислоти (НОК): найвищий результат 24,4 % забезпечувала концентрація 150 мг/л за 6-годинного замочування, тоді як 24-годинна експозиція знижувала показник до рівня контролю 4,4 %.

У дослідях із препаратами встановлено, що найвищий рівень укорінення забезпечував препарат Rhizorop 0,5 – у середньому 34,4 %, тоді як застосування препарату Clonex Purple – становило 37,8 %, що є максимальним показником серед усіх варіантів. Водночас підвищення концентрації діючої речовини (Rhizorop 0,5, ІМК 5000 мг/л) супроводжувалося зниженням виходу укорінених живців до 11–12 %.

Встановлено, що аналогічна залежність простежувалася також за показниками морфогенезу – кількістю та довжиною коренів, а також довжиною надземного приросту. Найвищі значення зазначених показників отримано за застосування препарату Clonex Purple. Дещо нижчі результати забезпечував порошкоподібний препарат Rhizorop 0,5, який, істотно перевищував контрольні варіанти дослідів. Встановлено, що підвищення концентрації ауксинових речовин (ІМК і НОК до 5000 мг/л) супроводжувалося зниженням ефективності порівняно з нижчими концентраціями; перевага над контролем була неістотною або відсутньою.

Отримані результати підтверджують наявність чіткої залежності ефективності ризогенезу від концентрації ауксину та тривалості замочування та

обґрунтовують доцільність використання помірних концентрацій із короткочасною експозицією для підвищення ефективності вегетативного розмноження *Picea pungens* f. *glauca*.

Висвітлено технологічні особливості дорощування укорієних живців *Picea pungens* f. *glauca* у відкритому ґрунті. Описано терміни і спосіб пересаджування, а також заходи підготовки рослин до висаджування.

Розкрито заходи до підготовки ґрунту, включаючи застосування органієних і мінеральних добрив (компосту та нітрофоски), що забезпечують формування сприятливого поживного середовища для розвитку кореневої системи та росту рослин.

Визначено основні агротехнієні заходи догляду за рослинами у період дорощування, зокрема режим поливу, використання притієювальної сітки та мульчування ґрунту, які сприяють підтриманню оптимального водного, температурного та світлового режимів.

Встановлено, що комплексне застосування зазначених заходів забезпечує успішне приживлення укорієних живців, активний ріст і формування якісного садивного матеріалу в умовах відкритого та закритого ґрунту.

Розкрито особливості використання *Picea pungens* f. *glauca* в озелєненні різних типів територій та її роль у формуванні декоративних насаджень. Проаналізовано напрями застосування виду в міських зелєних насаджєннях, парках, скверах, на приватних територіях, а також біля адміністративних об'єктів.

Висвітлено ландшафтєно-композиційні принципи використання *Picea pungens* f. *glauca*, зокрема її поєднання з хвойними та листяними породами, роль у створєнні кольорових контрастів і багатоярусних насаджєнь, а також функції домієанти, акценту та фоєового елемєнта в композиціях.

На основі отриманих результатів розроблено проекти озелєнення присадибної території із використанням *Picea pungens* f. *glauca*, у яєому обґрунтовано асортимент рослин, просторову організацію насаджєнь і принципи їх поєднання. Показано, що застосування досліджуваного виду

сприяє підвищенню естетичної виразності, структурної збалансованості та екологічної ефективності зелених насаджень.

Ключові слова: укорінення, живцювання, дорощування, вологість, кількість і довжина коренів, стеблові живці, саджанці, ризогенез, стимулятори коренеутворення, озеленення, садивний матеріал.

ABSTRACT

A. S. Badenko. Peculiarities of cultivating planting stock of blue spruce (*Picea pungens* f. *glauca*) from stem cuttings in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine.

Dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy in the field of knowledge 20 “Agricultural Sciences and Food” (speciality 205 “Forestry”). – Uman National University, Uman, 2026.

The dissertation presents a comprehensive study and scientific substantiation of a technology for the vegetative propagation of blue spruce (*Picea pungens* f. *glauca*) under the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. The research analyses the biological features of rhizogenesis in stem cuttings under the influence of modern plant growth regulators of different formulations. Optimal conditions for rooting and subsequent growing-on of planting material in open-ground conditions were identified, and practical recommendations for the use of the obtained plants in landscaping were developed.

The structure of the dissertation is determined by its aim, objectives, and the overall logic of the study. The work comprises an introduction, five chapters, conclusions, a list of references, and appendices.

The introduction substantiates the relevance of the research topic, defines the aim and objectives of the study, identifies the object and subject of investigation, and outlines the scientific novelty and practical significance of the results obtained.

Chapter 1 of the dissertation provides a comprehensive analysis of the botanical, ecological, and physiological–biochemical characteristics of spruce,

alongside a systematisation of contemporary scientific approaches to its vegetative propagation.

The taxonomic position of the species, its morphological and biological traits, as well as the history of its introduction and its current use in ornamental horticulture are examined. It was established that *Picea pungens* f. *glauca*, a member of the family Pinaceae, is characterised by a high degree of adaptability to adverse environmental conditions, including low temperatures, moisture deficit, and intense solar radiation. The natural range of the species, encompassing mountainous regions of North America, was analysed, as these habitats have shaped its key adaptive features. It was demonstrated that the glaucous-blue coloration of the needles represents not only a decorative trait but also an important physiological adaptation associated with reduced transpiration and enhanced tolerance to abiotic stress.

Particular attention is given to the morphological characteristics of the plant, including the structure of the crown, shoots, needles, bark, reproductive organs, and root system. The significance of *Picea pungens* f. *glauca* as one of the leading coniferous species in urban landscaping is substantiated, particularly under the conditions of Right-Bank Ukraine, where it is widely utilised due to its high ecological plasticity and ornamental value.

The inherent complexity of rhizogenesis in coniferous species is highlighted, underscoring the need for scientifically grounded propagation technologies.

Current perspectives on the influence of key environmental factors—temperature, moisture, and substrate—on plant growth, development, and the rooting of cuttings of *Picea pungens* f. *glauca* are synthesised. Optimal temperature ranges for plant growth and for the induction of adventitious root formation were identified, and the detrimental effects of both low and excessively high temperatures on callus formation and rhizogenesis were demonstrated.

The role of moisture as one of the key determinants of plant vitality and successful rooting of cuttings was examined in detail. It was demonstrated that an optimal water regime ensures the maintenance of cell turgor, supports the intensity of metabolic processes, and promotes the formation of root primordia. In contrast, both

moisture deficiency and excess were shown to inhibit growth and increase the risk of cutting mortality.

The influence of the substrate was considered as a complex factor governing the physical and chemical conditions of root system development. It was established that substrates should combine a high water-holding capacity with adequate aeration. The findings of recent studies on the effectiveness of various substrate mixtures were synthesised.

Physiological and biochemical mechanisms of adventitious root formation, as well as the role of plant growth regulators in this process, were analysed. It was demonstrated that rooting efficiency depends not only on the concentration of exogenous stimulants but also on the physiological condition of the cuttings, their morphological characteristics, age, and cultivation conditions. Contemporary scientific approaches to the application of growth regulators for enhancing rhizogenesis in coniferous cuttings were summarised, providing an important basis for the development of effective propagation technologies for *Picea pungens*.

A detailed characterisation of the soil and climatic conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine, under which the experimental studies were conducted, is provided, along with a description of the object and subject of the research. The conditions for the cultivation and rooting of stem cuttings of *Picea pungens* f. *glauca* in a polycarbonate greenhouse are outlined, including parameters of the temperature regime, air humidity, light conditions, and substrate.

The research methodology is presented in detail, encompassing experimental designs involving the application of various rhizogenesis stimulators (indole-3-butyric acid and naphthaleneacetic acid, as well as commercial formulations such as Rhizopon and Clonex), with variation in their concentrations and treatment durations. The procedures for the collection, preparation, and planting of cuttings are described, together with the methods used to assess rooting performance and plant growth.

The application of mathematical and statistical methods for data analysis is substantiated, in particular one- and two-factor analysis of variance (ANOVA), which

ensured a reliable evaluation of the effects of the studied factors on the process of adventitious rhizogenesis.

The results of three-year experimental studies (2023–2025), aimed at determining the effects of auxin type, concentration, and exposure duration on the rooting of stem cuttings of *Picea pungens* f. *glauca*, are presented. It was established that the natural rooting capacity of the species is low, with the control treatment averaging 1.3–1.7 rooted cuttings (4.4–5.6%).

The application of indole-3-butyric acid (IBA) was shown to significantly enhance rhizogenesis efficiency. The highest rooting percentage (28.9%) was obtained at a concentration of 150 mg L⁻¹ with a 6-hour exposure, exceeding the control by more than sixfold. At a concentration of 100 mg L⁻¹, the optimal treatment duration was 12 hours, resulting in a rooting rate of 25.6%, whereas prolonging the treatment to 24 hours led to a decline in performance. It was also established that extended exposure at a high concentration (150 mg L⁻¹ for 24 hours) markedly inhibited rooting, reducing it to 5.6%, which indicates a phytotoxic effect.

A similar pattern was observed for naphthaleneacetic acid (NAA): the highest rooting percentage (24.4%) was achieved at a concentration of 150 mg L⁻¹ with a 6-hour soaking period, whereas extending the exposure to 24 hours reduced the value to the control level (4.4%).

In experiments with commercial formulations, the highest rooting rate was obtained with Rhizopon 0,5, averaging 34.4%, while the application of Clonex Purple resulted in 37.8%, representing the maximum among all treatments. At the same time, increasing the concentration of the active substance (Rhizopon 0.5, IBA 5000 mg L⁻¹) led to a decline in rooting efficiency to 11–12%.

It was established that a similar trend was also observed for morphogenetic parameters, including the number and length of roots, as well as shoot elongation. The highest values for these traits were recorded following the application of Clonex Purple. Slightly lower, yet still substantially higher than the control, results were obtained with the powdered formulation Rhizopon 0,5. Increasing the concentration of auxins (IBA and NAA up to 5000 mg L⁻¹) led to reduced effectiveness compared

with lower concentrations; in such cases, the advantage over the control was negligible or absent.

The obtained results confirm a clear dependence of rooting efficiency on auxin concentration and duration of treatment, and substantiate the use of moderate concentrations combined with short exposure periods as the most effective approach for improving the vegetative propagation of *Picea pungens* f. *glauca*.

The technological aspects of growing-on rooted cuttings of *Picea pungens* f. *glauca* under open-field conditions were outlined. The timing and methods of transplanting were described, along with the preparatory measures required prior to planting.

Approaches to soil preparation are presented, including the application of organic and mineral fertilisers (compost and nitrophoska), which ensure the formation of a favourable nutrient environment for root system development and plant growth.

The principal agronomic practices for plant maintenance during the growing-on period are identified, in particular irrigation regimes, the use of shading nets, and soil mulching. These measures were shown to support optimal water, temperature, and light conditions.

It was established that the integrated application of these practices ensures successful establishment of rooted cuttings, promotes active growth, and facilitates the formation of high-quality planting stock under open-ground conditions.

The features of the use of *Picea pungens* f. *glauca* in landscaping of various types of territories and its role in the formation of ornamental plantings were revealed. The directions of the species application in urban green spaces, parks, squares, private areas, as well as near administrative buildings were analyzed.

Landscape design principles governing the use of blue spruce are discussed, including its combination with coniferous and deciduous species, its role in creating colour contrasts and multi-layered plantings, and its function as a dominant, focal, or background element within compositions.

Based on the results obtained, a landscaping project for a residential site incorporating *Picea pungens* f. *glauca* was developed, in which the plant assortment, spatial organisation of plantings, and principles of their combination are substantiated. It was demonstrated that the use of this species contributes to enhanced aesthetic expressiveness, structural balance, and ecological effectiveness of green spaces.

Keywords: rooting, cutting propagation, growing-on, humidity, root count and length, stem cuttings, saplings, rhizogenesis, rooting stimulators, landscaping, planting material.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Баденко, А. С. (2026). Вплив індоліл-3-масляної кислоти на ризогенез живців (*Picea Pungens* F. *Glauca*). Scientific Bulletin of UNFU, 36(1), 15-21. <https://doi.org/10.36930/40360102>

2. Badenko, A. S. (2026). Effect of Rhizopon and naphthylacetic acid on rhizogenesis of *Picea pungens* f. *glauca*. Agriculture and Forestry, no. 1 (40). <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2026-1-15>

3. Badenko, A. (2026). Influence of clonex and indole-3-butyric acid on the rhizogenesis of *Picea pungens* f. *glauca* cuttings. Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science, 30(1), 33-43. <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/1.2026.33>

Тези наукових доповідей:

4. Баденко А.С. Особливості генеративних процесів у ялини колючої (*Picea pungens* ENGELM.) Міжнар. наук.-практ. онлайн-конф., присвячена 100-річчю з дня народження професора В.І. Білоуса (Умань – Томашув-Мазовецький, 24.04.2025). Умань: Університет Університету Північної Кароліни, 2025. С. 31-32.

5. Баденко А.С. Особливості та методи розмноження ялини колючої (*Picea pungens* Engelm.): матер. Всеукр. наук.-практ. конф. (30 жовтня 2025 року) / Редкол. Поліщук В.В. (відп. ред.) та ін. Умань. ВПЦ «Візаві». 2025. С. 109-112.

6. Баденко А.С., Коваль С.А. Огляд сучасних методів оптимізації вегетативного розмноження *Picea pungens* *Glauca* в умовах декоративного розсадництва: матер. Наук.-практ. Інтер. конф. (20 листопада 2025 року), Умань: УНУ 2025 С. 6-8.

7. Баденко А. С. Вплив індоліл-3-масляної кислоти (50 мг/л) на ризогенез живців ялини колючої форми Блакитної (*Picea pungens* f. *Glauca*). Advanced Technologies in Scientific Research: Collection of Scientific Papers with Proceedings

of the 3rd International Scientific and Practical Conference. International Scientific Unity. February 25-27, 2026 p., Rotterdam, Netherlands. P. 121-122.

8. Баденко А. С. Адаптаційний потенціал *Picea pungens* F. *Glauca* в умовах Правобережного Лісостепу України. Modern Challenges in Economic and Technological Innovation: Collection of Scientific Papers with Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference. International Scientific Unity. Bologna, Italy. March 4-6, 2026. P. 93-95.

9. Баденко А.С. Вплив індоліл-3-масляної кислоти (100 мг/л) на ризогенез живців ялини колючої форми блакитної (*Picea pungens* f. *glauca*) Міжнар. наук. конф. «Forest Sector Transformation towards Ukraine's Post-War Green Rebuilding: Meeting Changing Demands for Professionals», 19-20 березня 2026 р., Київ, Україна 2026. С 123-125.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	17
РОЗДІЛ 123 БОТАНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ОСОБЛИВОСТІ ВКОРІНЕННЯ ЖИВЦІВ ЯЛИНИ КОЛЮЧОЇ ФОРМИ БЛАКИТНОЇ	23
1.1. Систематичне положення ялини колючої форми блакитної.....	23
1.2 Природний ареал, інтродукція та поширення ялини колючої форми блакитної.....	24
1.3 Морфологічні особливості та розмноження ялини колючої форми блакитної.....	29
1.4. Вплив температури, вологості та субстрату	37
1.5 Вплив стимуляторів	49
Висновки до розділу 1	59
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	60
2.1 Кліматичні умови, об'єкт та методика дослідження	60
2.2 Характеристика стимуляторів коренеутворення.....	68
2.3 Схеми проведення дослідження	73
Висновки до розділу 2	78
РОЗДІЛ 3 ВПЛИВ СТИМУЛЯТОРІВ НА ВИХІД ТА БІОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ ЖИВЦІВ.....	79
3.1 Вплив стимуляторів укорінення на вихід укорінених живців ялини колючої форми блакитної.....	79
3.2 Вплив стимуляторів укорінення на кількість коренів у стеблових живців ялини колючої форми блакитної.....	94
3.3 Вплив стимуляторів укорінення на довжину коренів у стеблових живців ялини колючої форми блакитної.....	108

3.4 Вплив стимуляторів укорінення на довжину надземного приросту у стеблових живців ялини колючої форми блакитної	121
Висновки до розділу 3	136
РОЗДІЛ 4 ДОРОЩУВАННЯ САДИВНОГО МАТЕРІАЛУ	137
4.1 Відбір укорінених живців та пересаджування на дорощування	137
4.2 Підготовка ґрунту до висаджування	140
4.3 Застосування поливу, притінювальної сітки та мульчування для підтримання оптимального мікроклімату	147
4.4 Дорощування укорінених живців ялини колючої форма блакитна у закритому ґрунті.....	149
Висновок до розділу 4	158
РОЗДІЛ 5 ЗАСТОСУВАННЯ PICEA PUNGENS F. GLAUCA В ОЗЕЛЕНЕННІ	159
5.1 Використання <i>Picea pungens f. glauca</i> в озелененні	159
5.2 Ландшафтно-композиційні особливості використання ялини колючої форми блакитної.....	170
5.3 Проектні пропозиції озеленення із використанням ялини колючої форми блакитної.....	174
Висновок до розділу 5	186
ВИСНОВКИ.....	187
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	190
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	191
ДОДАТКИ	218

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасних умовах урбанізації та зростання антропогенного навантаження на довкілля важливого значення набуває створення стійких і декоративних зелених насаджень. Особливу роль у даному процесі відіграють хвойні породи, які забезпечують декоративність протягом цілого року, виконують санітарно-гігієнічні функції та сприяють покращенню мікроклімату міського середовища.

Серед таких рослин важливе місце займає ялина колюча форма блакитна (*Picea pungens* Engelm. f. *glauca*), яка характеризується високою декоративністю, екологічною пластичністю та стійкістю до несприятливих факторів. Завдяки цим властивостям вона широко використовується в озелененні населених пунктів, зокрема в умовах Правобережного Лісостепу України.

Водночас зростання попиту на якісний садивний матеріал цієї культури супроводжується проблемами його отримання. Насіннєве розмноження не забезпечує збереження декоративних ознак і характеризується значною мінливістю потомства, що обмежує його використання в декоративному садівництві. У зв'язку з цим особливого значення набуває вегетативне розмноження, яке дозволяє отримувати однорідні рослини з прогнозованими властивостями.

Найбільш перспективним методом є стеблове живцювання, однак для *Picea pungens* f. *glauca* воно ускладнене низькою природною здатністю до адвентивного коренеутворення. Ефективність цього процесу залежить від комплексу факторів, серед яких ключову роль відіграють регулятори росту, зокрема ауксини, а також умови укорінення (температура, вологість, субстрат).

Незважаючи на наявність значної кількості досліджень [101, 195, 201, 216, 217], присвячених вегетативному розмноженню хвойних рослин, більшість із них виконано в умовах, відмінних від ґрунтово-кліматичних умов Правобережного Лісостепу України. Недостатньо вивченими залишаються

питання оптимізації концентрацій і тривалості дії ауксинів, а також ефективності різних препаративних форм стимуляторів ризогенезу.

Таким чином, актуальність теми зумовлена необхідністю вдосконалення технології вегетативного розмноження ялини колючої форми блакитної шляхом наукового обґрунтування застосування регуляторів росту та оптимізації умов укорінення живців в умовах Правобережного Лісостепу України, що має важливе теоретичне і практичне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана протягом 2022–2026 рр. на кафедрі лісового господарства Уманського національного університету відповідно до тематичного плану науково-дослідної роботи «Збалансоване використання, прогноз і управління природним та ресурсним потенціалом агроєкосистем України» (Державний реєстраційний номер 0121U112521). Тема дисертаційної роботи є складовою частиною досліджень, спрямованих на удосконалення технологій вегетативного розмноження декоративних деревних рослин, і передбачала вивчення особливостей укорінення стеблових живців *Picea pungens* f. *glauca* та обґрунтування ефективних прийомів вирощування садивного матеріалу в умовах Правобережного Лісостепу України.

Мета і завдання досліджень. Метою дослідження було встановлення особливостей вегетативного розмноження стебловими живцями та обґрунтування ефективних технологічних прийомів вирощування садивного матеріалу в умовах Правобережного Лісостепу України.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- проаналізувати сучасний стан проблеми вегетативного розмноження декоративних хвойних рослин, зокрема *Picea pungens* f. *glauca*;
- дослідити вплив типу та концентрації ауксинових препаратів на процес укорінення стеблових живців;
- встановити оптимальні режими обробки живців індолілмасляною кислотою (ІМК) за різних концентрацій та експозицій;

- оцінити ефективність застосування препаратів типу Clonex у порівнянні з водними розчинами ІМК;
- визначити показники ризогенезу (відсоток укорінення, кількість та довжина коренів);
- дослідити ріст і розвиток укорінених живців (довжина надземного приросту, біометричні показники);
- встановити вплив досліджуваних факторів на якість садивного матеріалу;
- обґрунтувати технологічні прийоми дорощування укорінених живців у відкритому ґрунті;
- розробити практичні рекомендації щодо вирощування саджанців ялини колючої форми блакитної для умов Правобережного Лісостепу України.

Об'єктом дослідження є процес вегетативного розмноження ялини колючої форми блакитної стебловими живцями в умовах Правобережного Лісостепу України.

Предметом дослідження є вплив типу, концентрації та режимів застосування ауксинових препаратів на процес укорінення стеблових живців ялини колючої форми блакитної, а також показники ризогенезу і росту укорінених рослин.

Методи дослідження. У процесі виконання дисертаційної роботи використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів досліджень: аналітичні – для опрацювання наукових джерел і узагальнення літературних даних; експериментальні – для встановлення впливу типу, концентрації та режимів застосування ауксинових препаратів на укорінення стеблових живців ялини колючої форми блакитної; біометричні – для визначення показників ризогенезу (відсоток укорінення, кількість і довжина коренів) та росту укорінених рослин (довжина надземного приросту); статистичні – для обробки експериментальних даних із використанням дисперсійного аналізу та визначення достовірності отриманих результатів.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна одержаних результатів полягає у встановленні закономірностей ризогенезу стеблових живців ялини колючої форми блакитної під впливом екзогенних ауксинів та обґрунтуванні ефективних технологічних прийомів вирощування садивного матеріалу в умовах Правобережного Лісостепу України.

уперше:

- встановлено оптимальні параметри застосування препаратів Clonex та Rhizorop для укорінення стеблових живців ялини колючої форми блакитної (концентрація та експозиція), що забезпечують максимальний вихід укорінених рослин;
- виявлено закономірності впливу тривалості експозиції ІМК, НОК на процес ризогенезу та доведено інгібуючий ефект підвищених концентрацій за тривалої обробки;
- проведено порівняльну оцінку ефективності гелевих препаратів типу Clonex і водних розчинів ІМК у процесі укорінення живців ялини колючої форми блакитної;
- встановлено вплив ауксинових препаратів на морфометричні показники кореневої системи та надземної частини укорінених живців.

удосконалено:

- елементи технології вегетативного розмноження ялини колючої форми блакитної стебловими живцями шляхом оптимізації режимів застосування ауксинових препаратів;
- заходи до підвищення ефективності укорінення ялини колючої форми блакитної у розсадниках Правобережного Лісостепу України.

отримало подальший розвиток:

- наукові підходи до вирощування садивного ялини колючої форми блакитної в умовах відкритого ґрунту;
- обґрунтування технологічних прийомів дорощування укорінених живців.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані результати досліджень мають важливе практичне значення для лісових розсадників та декоративного садівництва, зокрема для вирощування садивного матеріалу ялини колючої форми блакитної в умовах Правобережного Лісостепу України. На основі проведених досліджень обґрунтовано ефективні технологічні прийоми вегетативного розмноження зазначеного таксона, зокрема визначено оптимальні параметри застосування ауксинових препаратів (тип, концентрація та експозиція), що забезпечують підвищення виходу укорінених живців і покращення якості садивного матеріалу. Запропоновані технологічні рішення можуть бути використані у діяльності лісових та декоративних розсадників, підприємств зеленого будівництва, а також у практиці вирощування декоративних хвойних рослин. Результати досліджень впроваджено у виробництво Національного дендрологічного парку «Софіївка» – НДІ НАН України (додаток Е2) та в діяльність Звенигородського надлісництва філії «Центральний лісовий офіс» ДП «Ліси України» (додаток Е3), що підтверджується відповідними актами впровадження, та можуть бути використані у навчальному процесі під час підготовки фахівців лісового та садово-паркового господарства.

Отримані результати та висновки використовуються в навчальному процесі Уманського національного університету під час викладання дисциплін «Озеленення населених місць», «Лісівництво», «Лісові культури», «Лісові розсадники» (додаток Е1).

Особистий внесок автора. Дисертаційна робота є самостійно виконаною завершеною науковою працею. Автором обґрунтовано актуальність і напрям досліджень, сформульовано мету та завдання роботи, здійснено аналіз і узагальнення наукових джерел за темою дослідження. Автором особисто розроблено програму та методику досліджень, проведено експериментальні роботи з вивчення впливу ауксинових препаратів на укорінення стеблових живців *Picea pungens* f. *glauca*, виконано обліки та біометричні вимірювання. Отримані експериментальні дані оброблено із застосуванням методів

математичної статистики. Проведено аналіз і узагальнення результатів досліджень, сформульовано наукові положення, висновки та практичні рекомендації. Підготовлено наукові публікації та оформлено текст дисертаційної роботи. В опублікованих наукових працях, використано лише ті результати та положення, що є особистим доробком автора.

Апробація результатів дослідження. Основні результати та положення дисертаційної роботи представлено на:

1. Міжнародній науковій практичній онлайн конференції Присвяченій 100-річчю з дня народження професора В.І. Білоуса (Умань – Томашув-Мазовецький, 24.04.2025).

2. Всеукраїнській науково-практичній конференції «Перспективи розвитку лісового господарства» (м. Умань, 30 жовтня 2025 р.)

3. Науково-практичній Інтернет конференції «Сучасний стан та перспективи розвитку лісового і садово-паркового господарства» 20 листопада 2025р., Умань, Україна

4. Міжнародній науково-практичній конференції «Advanced Technologies in Scientific Research» 25-27 лютого 2026р. , Роттердам, Нідерланди

5. Міжнародній науково-практичній конференції «Modern Challenges in Economic and Technological Innovation» 4-6 березня 2026р., Болонья, Італія

6. Міжнародній науковій конференції «Forest Sector Transformation towards Ukraine's Post-War Green Rebuilding: Meeting Changing Demands for Professionals», м. Київ, Україна 19-20 березня 2026 р.

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи було опубліковано 9 наукових праць, у тому числі: 3 статті у наукових фахових виданнях України; 4 тези доповіді, опублікованих у збірниках матеріалів міжнародних науково-практичних конференцій, виданих за кордоном, та 2 тези доповіді на всеукраїнських науково-практичних конференціях (додаток А).

РОЗДІЛ 1

БОТАНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ОСОБЛИВОСТІ ВКОРІНЕННЯ ЖИВЦІВ ЯЛИНИ КОЛЮЧОЇ ФОРМИ БЛАКИТНОЇ

1.1. Систематичне положення ялини колючої форми блакитної

Ялина колюча форма блакитна (*Picea pungens* Engelm. f. *glauca*) є представником хвойних дерев і належить до відділу Голонасінних (Pinophyta). Для цієї групи рослин характерне формування насіння відкрито на насінних лусках шишок, без утворення справжніх плодів [1].

Дана особливість відрізняє хвойні (голонасінні) від покритонасінних і зумовлює низку морфологічних і біологічних особливостей, зокрема такі, як тривалість життя, повільні темпи росту на ранніх стадіях розвитку та механізми пристосування до несприятливих умов навколишнього середовища [2, 3].

Серед представників відділу Pinophyta ялина колюча належить до класу Pinopsida, порядку Pinales та родини Соснових (Pinaceae). Родина Pinaceae є однією з основних серед хвойних, тому що об'єднує основні лісоутворюючі роди Північної півкулі – сосни (*Pinus*), ялиці (*Abies*), модрина (*Larix*), кедри (*Cedrus*) та ялини (*Picea*) [4]. Представники даної родини характеризуються присутністю смоляних каналів, хвоєю голчастого або лускатого типу, а також формуванням характерних дерев'янистих шишок, які слугують для формування насіння та виконують репродуктивну роль [5].

Рід *Picea* A. Dietr. (ялина) налічує 35 видів, розповсюджених у переважній більшості в північних лісових і високогірних регіонах Євразії та Північної Америки [6]. Представники цього роду характеризуються типовою морфологічною особливістю – поодиноким розміщенням хвоїнок на пагонах, які прикріплюються до невеликих дерев'янистих виступів (стеригм), які залишаються на гілках навіть після опадання хвої. Ця особливість є важливою ознакою, яка дає змогу відрізнити ялини від ялиць, у яких хвоїнки кріпляться безпосередньо до пагонів і після опадання не залишає виступів [7, 8].

Вид *Picea pungens* Engelm., відомий як ялина колюча або ялина блакитна (в декоративному сенсі), є одним з найпопулярніших північноамериканських представників роду. Видова назва *pungens* (лат. “колючий”) пов'язана з жорсткою, гострою хвоєю, що є характерною рисою цієї рослини. В межах виду виділяють декоративну форму *f. glauca*, котра характеризується особливо яскравим сизо-блакитним забарвленням хвої. Термін *glauca* в ботанічній номенклатурі позначає «сизий», «з восковим покриттям», що цілком відповідає зовнішньому вигляду цієї форми [9].

Форма *Picea pungens f. glauca* є не окремим видом, а сприймається як внутрішньовидовий таксон, що з'явився внаслідок природної варіативності виду і подальшого відбору в культурі [10]. Дана форма широко поширена в декоративному садівництві через свої високі декоративні якості, стійкість до умов міського середовища та здатність зберігати декоративні ознаки впродовж року. У систематиці декоративних рослин вона часто виступає як основна форма для створення безлічі сортів, які відрізняються інтенсивністю забарвлення, формою крони та швидкістю росту [11].

Таким чином, систематичне положення *Picea pungens* Engelm. *f. glauca* класифікує її як член родини *Pinaceae* роду *Picea*, що характеризується типовими рисами хвойних дерев, але водночас демонструє унікальні декоративні особливості, пов'язані з блакитним кольором хвої. Усвідомлення її таксономічної приналежності є важливою основою для подальшого дослідження біологічних характеристик, адаптації в умовах України та створення ефективних методів вегетативного розмноження.

1.2 Природний ареал, інтродукція та поширення ялини колючої форми блакитної

Ялина колюча (*Picea pungens* Engelm.) є характерним представником хвойних рослин Північної Америки. Її походження пов'язане з гірськими територіями західної частини США, де цей вид є типовим представником високогірної та субальпійської лісової рослинності. Основний ареал *Picea*

pungens займає регіони Скелястих гір, зокрема штати Колорадо, Юта, Вайомінг, Нью-Мексико та Аризона [12, 13], що помітно на рис. 1.



Рис 1.1. Природний ареал ялини колючої

Саме тому в англomовній літературі цей вид часто згадують як "Colorado blue spruce", зосереджуючи увагу на його місцевому походженні та унікальному забарвленні хвої [14].

Природні популяції ялини колючої здебільшого пов'язані з долинами, схилами та ущелинами на висотах від 1800 до 3000 м над рівнем моря. Дані місцевості характеризуються холодною з великою кількістю снігу зимою, коротким вегетаційним періодом і помірно теплим літом. Значні добові коливання температури, інтенсивне сонячне випромінювання та нерівномірна кількість опадів протягом року є важливими екологічними характеристиками. Завдяки цим факторам *Picea pungens* набула таких адаптивних ознак, як морозостійкість, посухостійкість і здатність витримувати сильне ультрафіолетове випромінювання [15, 16, 17].

У природному середовищі ялина колюча зустрічається переважно біля берегів гірських річок і струмків, де ґрунтові умови забезпечують належне зволоження навіть у сухі періоди. Типові місця її росту – це алювіальні та

делювіальні ґрунти, які добре дреновані, але при цьому можуть належним чином утримувати вологу [18, 19]. Вид здатний як формувати чисті насадження (монокультури), так і бути частиною змішаних насаджень разом із ялицею субальпійською (*Abies lasiocarpa*), сосною жовтою (*Pinus ponderosa*), дугласією (*Pseudotsuga menziesii*) та іншими хвойними породами, які ростуть в гірських умовах [20, 21].

Варто зазначити, що в межах природного ареалу ялина колюча демонструє значну внутрішньовидову мінливість, яка проявляється у різному забарвленні хвої – від зеленої до сріблясто-блакитної. Саме ця мінливість стала основою для виділення декоративної форми *f. glauca*, яка характеризується посиленням воскового нальоту на поверхні хвоїнок. Такий наліт не лише визначає декоративну цінність рослини, але й має екологічне значення, адже зменшує транспірацію та виконує захисну функцію в умовах високої інтенсивності сонячного випромінювання та дефіциту вологи, що характерно для умов гірських регіонів західної частини Північної Америки [22, 23].

Як декоративна порода ялина колюча почала активно поширюватися за межами свого природного ареалу у другій половині XIX століття. Її завезення та подальше впровадження в культуру в Європі було пов'язане з привабливим зовнішнім виглядом, високою морозостійкістю та здатністю добре адаптуватися до різних ґрунтово-кліматичних умов. Особливої популярності в озелененні набули саме блакитні форми, які з часом стали одними з найпоширеніших хвойних рослин у міських насадженнях, парках і приватних садах [24, 25].

У процесі вирощування найбільшого поширення набули саме блакитні форми ялини. Наявність сизо-блакитного відтінку хвої стала особливою рисою, що підкреслювала декоративну цінність рослини та сприяла її широкому застосуванню в озелененні [26]. У європейських розсадниках почали відбирати та зберігати для подальшого розмноження найкрасивіші екземпляри, це слугувало основою для виникнення багатьох сортів з різними формами крони, темпами росту та насиченістю блакитного кольору [27].

На території України ялина колюча з'явилася в кінці XIX – на початку XX століття, спочатку це була рідкісна колекційна рослина, яка росла в ботанічних садах і дендропарках. Поступово, із розвитком декоративного садівництва, вона стає все частіше застосовуватися в міському озелененні, парках та приватних садах. Цей вид особливо активно розповсюджувався в центральних і західних регіонах України, де кліматичні умови були сприятливими для його росту і розвитку [28].

Важливу роль у поширенні *Picea pungens* f. *glauca* в Україні відіграли наукові установи, ботанічні сади Національної академії наук, дендрологічні парки (“Софіївка”, “Олександрія ” , “Тростянець”), а також лісгосподарські дослідні станції, на їх території проводилися спостереження за адаптацією інтродуцентів до місцевих ґрунтово-кліматичних умов. У цих центрах *Picea pungens* f. *glauca* була рекомендована як перспективна декоративна рослина для озеленення населених пунктів завдяки декоративності та не вибагливості до кліматичних умов [29].

У наш час *Picea pungens* f. *glauca* широко використовується в озелененні, її використовують як окрему рослину в парках або в поєднанні з іншими хвойними та листяними породами для створення алейних насаджень. Крім того, ялину колючу використовують для створення ландшафтного проектування на приватних ділянках, а також у міських скверах і приватних ландшафтних композиціях, що підкреслює її універсальність як декоративної породи. Стійкість до забруднення повітря, а також висока декоративна привабливість протягом усього року визначають її значну декоративну та екологічну цінність у міських умовах [30, 31, 32].

У Правобережній Україні ялина колюча форма блакитна є однією з найбільш поширених інтродукованих хвойних порід. Її активно використовують у насадженнях міст і селищ, оскільки кліматичні умови регіону загалом сприятливі для вирощування цієї культури [33].

Разом із тим, розвиток місцевого декоративного розсадництва потребує власної науково обґрунтованої бази для розмноження та вирощування

садивного матеріалу саме в умовах Правобережжя, оскільки технології, запозичені з інших кліматичних зон, не завжди є ефективними [34]. Її активно використовують у вуличному та бульварному озелененні, при створенні алейних насаджень, у скверах і парках різного функціонального призначення, на територіях адміністративних будівель, навчальних закладів і медичних установ, у ландшафтному оформленні житлових комплексів та приватних садів [35, 36, 37].

Окремої уваги заслуговує екологічна роль ялини колючої форми блакитної у міських умовах. Як вічнозелена порода, вона виконує важливі функції: зменшує запиленість повітря, поглинає частину токсичних газів, покращує мікроклімат, підвищує естетичний комфорт міського середовища, слугує біологічним бар'єром від шуму та вітру [38].

У великих містах хвойні насадження мають стратегічне значення як компонент «зеленої інфраструктури», і *Picea pungens* f. *glauca* є однією з найбільш придатних порід для таких завдань завдяки стійкості до несприятливих факторів [39].

Крім того, декоративні сорти цієї форми є дороговартісним продуктом, що робить їх вирощування економічно вигідним напрямом для сучасних розсадників.

У зв'язку з цим, поширення ялини колючої форми блакитної в Україні є результатом тривалого процесу інтродукції та культурного відбору. На сьогоднішній день дана культура займає важливе місце у системі декоративного озеленення, особливо в умовах Правобережної України, де вона набула широкого використання як одна з основних хвойних порід у міських і паркових насадженнях. Форма *glauca* стала основою для виведення численних сортів, які нині є одними з найпопулярніших у декоративному садівництві, зокрема «*Glaucia Globosa*», «*Hoopsii*», «*Koster*», «*Fat Albert*» та інші [40, 41].

1.3 Морфологічні особливості та розмноження ялини колючої форми блакитної

Ялина колюча форма блакитна (*Picea pungens* Engelm. f. *glauca*) є однією з найбільш цінних декоративних хвойних видів, морфологічні характеристики якої мають не тільки систематичне значення, а й визначають її практичну цінність в озелененні. На вигляд дану культуру досить легко відрізнити від інших представників роду *Picea*, завдяки формі крони та сизо-блакитному забарвленню хвої [42, 43].

Морфологічна характеристика даної культури включає сукупність ознак, які формуються протягом життєвого циклу рослини та відображає її адаптацію до гірських природних умов Північної Америки і до особливостей культивування в умовах Європи та України [44].

В природних умовах ялина колюча є високим деревом, що сягає 25–35 м у висоту, а іноді й більше. В міських та паркових насадженнях, її розміри зазвичай трохи менші, проте рослина зберігає характерне для виду формування крони з вираженим центральним стовбуром [45].

У молодому віці крона ялини має вузько-конічну форму. Скелетні гілки розташовані у вигляді мутовок (ярусами) й відходять від стовбура під майже прямим кутом, що формує симетричний контур дерева. З часом крона розширюється, або іноді набуває більш розлогого вигляду, проте у декоративних форм *glauca* впорядкованість структури крони зберігається значно довше, ніж у звичайних зелених формах. Ця особливість забезпечує симетричність крони і високу естетику дерева у парках і алеях [46, 47].

Темпи росту мають помірну інтенсивність. У молодому віці рослина розвиває кореневу систему та формує основний каркас крони, тому прирости можуть бути відносно невеликими. В подальшому річний ріст стабілізується, і дерево формує характерний йому декоративний вигляд [48].

Стовбур ялини колючої прямий, правильно сформований, покритий корою, яка з часом зазнає змін. У молодих дерев кора тонка, сіро-коричнева,

гладка або трохи луската. З роками кора набуває більшої товщини, стає грубішою, тріскається на дрібні частинки, що є звичайною ознакою багатьох ялин [49, 50]. Ці вікові зміни кори відіграють важливу роль в адаптації, оскільки покращують захист камбіальних тканин від температурних змін, механічних пошкоджень та частково – від шкідливих організмів [51].

Пагони ялини колючої жорсткі, міцні, з чітко помітним річним приростом. Однорічні пагони зазвичай мають світло-жовтий або коричневий відтінок, згодом вони стають темнішими. Поверхня пагонів часто виглядає шорсткою через особливі листові подушечки, які мають вигляд маленьких виступів, на яких прикріплюється хвоя [52]. Важливою особливістю є також підвищена механічна міцність пагонів, що виникла як адаптація до гірських умов, де рослини піддаються впливу потужних вітрів і снігових навантажень [53].

Основною морфологічною особливістю ялини колючої блакитного відтінку є хвоя, зовнішній вигляд наведено на рис.1.2.



Рис. 1.2. Хвоя ялини колючої форми блакитної

Вона розташована поодинокі, радіально навколо пагона, що формує щільний і “колючий” вигляд гілок. Голки мають чотиригранний перетин, жорсткі, з дуже гострим закінченням. Довжина хвої варіює від 20 до 30 мм, інколи досягає 35 мм. Саме жорсткість і гострота голок обумовили латинську назву виду *pungens* – «колючий» [54].

Сизо-блакитний відтінок хвої, зумовлений наявністю воскового покриття на її поверхні. Воскове покриття виконує не тільки декоративну, а й фізіологічну роль: воно знижує випаровування води, збільшує стійкість рослини до посушливих умов та інтенсивного сонячного випромінювання, частково обмежує ушкодження тканин при різких коливаннях температури. Інтенсивність блакитного кольору може змінюватися в залежності від генотипу, умов освітлення та віку рослини, саме ця особливість робить форму *glausa* привабливою для ландшафтного дизайну. Таким чином, форма *glausa* проявляє високу толерантність до умов, притаманних міським територіям, зокрема сухому повітрю, пиловим навантаженням та стресу від сонячної радіації. Саме тому вона стала надзвичайно популярною в міському озелененні, де інші хвойні породи нерідко втрачають декоративність [55, 56, 57, 58].

Вегетативні бруньки ялини переважно знаходяться на кінцівках пагонів. Вони мають яйцеподібну форму, покриті великою кількістю лусок, для того щоб оберігати меристему від зимових холодів. Розпускання бруньок починається навесні, досить рано, в залежності від температурних умов сезону. Це потрібно враховувати при аналізі сезонної ритміки зростання виду в умовах України [59].

Ялина колюча є однодомною рослиною: на одному дереві розвиваються чоловічі та жіночі стробіли. Чоловічі шишечки менші, червонуваті або жовтуваті, з’являються навесні та виробляють пилок, що переноситься вітром. Жіночі шишки мають більші розміри, вони в основному формуються у верхній частині крони. У молодому віці вони мають зелений або червоний відтінок (рис. 1.2), а в процесі дозрівання отримують світло-коричневе забарвлення [60]. Дозрілі шишки мають видовжену циліндричну форму, завдовжки 6–10 см, з тонкими хвилястими лусками.



Рис. 1.3. Жіночі шишки ялини колючої форма блакитна. А – молода шишка в процесі запилення (пурпурова, на гілці). Б – зріла шишка після висипання насіння (світло-коричнева, розкрита)

Насіння дрібне, має дрібне крильце, щоб ефективніше розповсюджуватися вітром. Однак у декоративній практиці насіннєве розмноження є обмеженим, адже не гарантує збереження блакитного кольору хвої у потомства [61].

Форма *glausa* характеризується високою адаптивною здатністю, що проявляється у її стійкості до різних умов вирощування. Серед важливих біологічних властивостей можна виділити: морозостійкість, посухостійкість, порівняно з іншими видами ялин, стійкість до міських умов та невибагливість до ґрунтів за умови достатнього дренажу [62].

Водночас рослина негативно реагує на застійне перезволоження, ущільнення ґрунту та дефіцит повітря у кореневій зоні, це варто враховувати при вирощуванні в розсадниках і зелених насадженнях [63].

Попри високу популярність, промислове вирощування ялини колючої форми блакитної стикається з низкою труднощів. Основною проблемою є те, що потреби ринку значно перевищують можливості традиційного насіннєвого розмноження.

У сучасних умовах розвитку декоративного садівництва потреба у якісних, однорідних саджанцях хвойних порід зростає з кожним роком. Для ялини колючої форми блакитної ця потреба є особливо гострою, оскільки рослина цінується передусім за свою унікальну ознаку – інтенсивне сріблясто-блакитне забарвлення хвої, яке має бути стабільним і прогнозованим у наступних поколіннях [64].

Традиційним способом отримання саджанців ялини колючої є насіннєве розмноження. Однак для декоративної форми *glauca* цей метод має суттєві недоліки, які роблять його малопридатним для сучасного садівництва.

По-перше, при насіннєвому вирощуванні відбувається значна генетична мінливість потомства. Це означає, що сіянці, отримані навіть з насіння декоративних материнських дерев, не гарантують збереження потрібних ознак. Частина рослин може мати зелену або лише слабо сизу хвою, що різко знижує їхню товарну цінність [65].

Дослідники неодноразово підкреслювали, що саме нестабільність успадкування декоративного забарвлення є однією з головних причин переходу до вегетативних методів розмноження у хвойних культур [66, 67, 68, 69].

По-друге, насіннєвий спосіб є надто тривалим. Для отримання саджанця товарного розміру потрібно кілька років вирощування у відкритому ґрунті або контейнерній культурі. Для розсадників це означає значні витрати часу, площі і ресурсів [70].

По-третє, насіннєве розмноження не забезпечує повної однорідності садивного матеріалу за формою крони, темпами росту та декоративними характеристиками. А саме ці показники є визначальними для ландшафтного використання [71].

Це явище пояснюється внутрішньовидовою генетичною мінливістю та складним характером успадкування ознаки воскового нальоту [72]. Саме тому насіннєве розмноження не може забезпечити отримання однорідного садивного матеріалу, що є критично важливим для декоративного садівництва.

У зв'язку з наведеними обмеженнями, у декоративному садівництві все більшого значення набуває вегетативне розмноження, яке дозволяє отримувати клони материнської рослини зі збереженням усіх її цінних ознак.

Вегетативне розмноження ялини колючої форми блакитної забезпечує: генетичну ідентичність потомства, стабільне відтворення блакитного забарвлення хвої, однорідність за формою крони та ростовими характеристиками, швидше отримання стандартних саджанців [73].

Саме тому у світовій практиці декоративного садівництва форма *glauca* розглядається як культура, для якої насіннєве вирощування може бути лише допоміжним, тоді як основним шляхом відтворення стає вегетативне розмноження [1].

Серед усіх способів вегетативного розмноження хвойних (щеплення, мікроклональне розмноження, живцювання) саме стеблове живцювання вважається найбільш перспективним для масового виробництва садивного матеріалу [74].

Метод щеплення забезпечує збереження декоративних ознак культиварів та використовується переважно для важковкорінюваних форм хвойних рослин. Однак він характеризується високою трудомісткістю, потребою у кваліфікованому персоналі та значними витратами часу на вирощування підщепного матеріалу. Крім того, у щеплених рослин можливі прояви фізіологічної несумісності прищепи й підщепи, нерівномірність росту, а також утворення деформацій у зоні щеплення, що знижує декоративну цінність садивного матеріалу. Для декоративних форм ялини колючої додатковою проблемою є обмежена кількість сумісних підщеп та відносно невисокий вихід стандартних рослин [75].

Мікроклональне розмноження (*in vitro*) дозволяє отримувати велику кількість генетично однорідного матеріалу незалежно від сезону. Проте використання методу *in vitro* для хвойних видів, зокрема для *Picea pungens* f. *glauca*, часто супроводжується значними труднощами стерилізації експлантів, низькою регенераційною здатністю тканин та високою чутливістю до складу поживних середовищ. Важливою проблемою є також ризик соматклональної мінливості, що може призводити до втрати характерного блакитного забарвлення хвої або зміни декоративних ознак. Окрім цього, технологія *in vitro* потребує дорогого лабораторного обладнання, стерильних умов та значних енергетичних витрат, що обмежує її економічну ефективність у виробничих умовах. [76].

Порівняно з наведеними методами, розмноження стебловими живцями є технологічно простішим, економічно доступнішим та придатним для масового отримання садивного матеріалу із збереженням декоративних властивостей материнських рослин. Водночас ефективність живцювання хвойних культур значною мірою залежить від фізіологічного стану живців, строків заготівлі, типу субстрату та застосування регуляторів росту, що обумовлює необхідність подальших досліджень у цьому напрямі [77].

Разом із тим, необхідно підкреслити, що ялина колюча форма блакитна належить до хвойних порід, які характеризуються порівняно низькою природною здатністю до адвентивного коренеутворення [1].

За даними досліджень [2, 62, 70] відзначається, що укорінення живців ялини є складним процесом, який залежить від великої кількості чинників: фізіологічного стану материнських рослин, віку пагонів, сезону заготівлі, умов вкорінення та застосування стимуляторів росту.

У практиці садівництва саме низький відсоток укорінених живців є основною причиною того, що культура залишається складною для масового розмноження, особливо в умовах відкритого ґрунту [78].

Аналіз сучасного стану декоративного садівництва України свідчить про високий попит на садивний матеріал *Picea pungens* f. *glauca*, особливо на однорідні рослини із стабільним блакитним забарвленням хвої.

На сьогодні дана культура є однією з найбільш затребуваних хвойних порід у декоративному озелененні міст, приватних територій, громадських просторів та ландшафтному проєктуванні, що підтверджується широким асортиментом садивного матеріалу у вітчизняних декоративних розсадниках. Висока декоративна цінність рослин, тривалий період вирощування та складність отримання однорідного матеріалу зумовлюють достатньо високу ринкову вартість саджанців, особливо декоративних форм і сортів.

У зв'язку з цим удосконалення технології вегетативного розмноження *Picea pungens* f. *glauca* має не лише наукове, а й практичне господарське значення, оскільки дозволяє підвищити вихід укорінених живців, покращити якість садивного матеріалу та підвищити ефективність вирощування рослин у декоративних розсадниках. Отримані результати можуть бути використані як основа для подальшого вдосконалення технологій промислового вирощування цієї культури в умовах Правобережного Лісостепу України.

Особливої актуальності набуває проблема розмноження *Picea pungens* f. *glauca* саме в умовах Правобережної України, оскільки більшість рекомендацій, наявних у літературі, розроблені для інших кліматичних зон – Західної Європи, Північної Америки або тепличних комплексів. Клімат регіону характеризується: нестійким температурним режимом, коливаннями вологості, різними типами ґрунтів і субстратів, специфічними умовами зимівлі молодих рослин [79].

Усе це потребує адаптації технологій живцювання до місцевих умов і наукового обґрунтування оптимальних режимів укорінення.

Таким чином, вегетативне розмноження стебловими живцями є не лише бажаним, а фактично необхідним шляхом отримання якісного садивного матеріалу ялини колючої форми блакитної, що й визначає актуальність проведення спеціальних досліджень у цьому напрямі.

1.4. Вплив температури, вологості та субстрату

Фактор температури є одним із основних екологічних чинників, що визначає життєдіяльність деревних рослин, зокрема *Picea pungens* Engelm. f. *glauca*. Формування цього виду відбувалося в умовах гірських районів Північної Америки, де характерними є значні добові коливання температури, прохолодні ночі, відносно коротке літо та тривала холодна зима [80].

Активність росту ялини колючої безпосередньо пов'язана з температурним режимом вегетаційного періоду. Початок сокоруху та розпускання бруньок навесні відбувається лише після досягнення певних температур. У середньому, для початку активної вегетації необхідне стале підвищення середньодобової температури від 8 до 10 °C [81].

У фазі інтенсивного росту пагонів оптимальною є температура повітря в межах від 16 до 22 °C. Саме в цьому діапазоні спостерігається найвищі показники процесів фотосинтезу, інтенсивний синтез структурних вуглеводів і формування повноцінних приростів. За нижчих температур процеси росту сповільнюються, а при підвищенні понад 25 °C відбувається часткове пригнічення фотосинтезу через порушення ферментативних реакцій [82].

Як зазначає Kramer та ін. [83], температурний оптимум фотосинтезу у більшості холодостійких хвойних порід лежить у межах помірних значень, тоді як перегрів призводить до зниження активності хлоропластів та підвищення інтенсивності дихання, що зменшує продукцію органічної речовини. Попри загальну посухостійкість і відносну витривалість, ялина колюча форма блакитна негативно реагує на тривале підвищення температури повітря, особливо за умов недостатньої вологості ґрунту. За температур понад 30 °C спостерігається: посилення транспірації, часткове закриття продихів, зниження інтенсивності фотосинтезу, порушення водного балансу.

У міських умовах Правобережної України, де влітку можливі тривалі періоди спеки, у молодих рослин інколи відзначається пригнічення приросту та часткове побуріння хвої на південному боці крони. Це явище пов'язане не лише з температурою, а також із поєднанням високої інсоляції та сухого повітря [79].

Тривалий тепловий стрес призводить до зміни метаболічних процесів: зростає частка дихання в загальному енергетичному балансі, знижується синтез асимілятів, що відображається на темпах росту та загальному декоративному вигляді рослини [84].

Однією з найцінніших біологічних властивостей ялини колючої є її висока морозостійкість. Вид здатний витримувати зниження температури від мінус 30 до мінус 35 °C без суттєвих ушкоджень, що пояснюється особливостями клітинної структури та біохімічного складу тканин [85].

У процесі осіннього загартування в клітинах відбуваються такі зміни: зменшення вмісту вільної води, накопичення цукрів і розчинних вуглеводів, підвищення концентрації захисних білків, зміна складу клітинних мембран. Ці механізми забезпечують підвищення осмотичного потенціалу клітин і зменшення ризику утворення внутрішньоклітинного льоду [86].

За даними Larcher [87], холодостійкі хвойні породи мають здатність до глибокої фізіологічної перебудови в період спокою, що дозволяє їм переносити значні морози без порушення структури тканин. Температурний режим впливає не лише на ріст, а й на інтенсивність блакитного забарвлення хвої. За помірних температур восковий наліт формується інтенсивніше, що забезпечує виразне декоративне забарвлення. У надто теплих умовах може спостерігатися менш виражений восковий шар, що візуально робить хвою більш зеленою. Таким чином, температурний фактор опосередковано впливає і на декоративні якості рослини.

Таким чином, температура є багатофакторним регулятором життєдіяльності ялини колючої форми блакитної, впливаючи на: ріст і розвиток, фотосинтетичну активність, водний баланс, морозостійкість, інтенсивність декоративного забарвлення, адаптаційні механізми в умовах континентального клімату.

Температурний режим у період укорінення є одним із найважливіших керованих факторів технології живцювання хвойних порід. Якщо для дорослого дерева температура визначає загальну інтенсивність росту, то для живців вона

безпосередньо впливає на утворення адвентивних коренів, швидкість калюсоутворення, гормональний баланс та життєздатність тканин у перші критичні тижні після відокремлення від материнської рослини [88, 89].

Живець – це фізіологічно ізольована система, яка одразу після зрізання переходить у стан стресу. У нього відсутня коренева система, а отже будь-які зміни температури впливають не лише на метаболізм, а й на водний режим і швидкість втрати резервних речовин [90].

Після висаджування живця першою його реакцією є утворення калюсу в нижній частині пагона. Цей процес є результатом активізації паренхімних клітин і камбіальної зони. Температура суттєво впливає на швидкість поділу клітин та активність ферментів, що беруть участь у синтезі нових тканин [91].

За даними досліджень у галузі розмноження деревних рослин Hartmann та ін. [87], для більшості хвойних порід оптимальна температура субстрату для індукції коренів становить від 20 до 24 °C. У межах цього діапазону активізується синтез РНК та білків, що забезпечують формування кореневих примордіїв. При зниженні температури від 12 до 14 °C поділ клітин сповільнюється. Калюс може формуватися повільно або взагалі залишатися недиференційованим, що подовжує період укорінення до кількох місяців. У таких умовах ризик ураження грибними інфекціями істотно зростає.

Для хвойних, зокрема для *Picea pungens*, практично доведено ефективність нижнього підігріву. Це пояснюється тим, що коренеутворення є локалізованим процесом, який відбувається в прикореневій зоні живця. Якщо температура повітря і субстрату однакова або субстрат холодніший по відношенню до повітря, процес ризогенезу сповільнюється. [92, 93].

У практиці розсадників оптимальною вважається температура субстрату близько 22 °C при температурі повітря від 18 до 20 °C. Такий температурний градієнт: активізує ферментативні процеси в основі живця, прискорює транспорт ауксинів до зони зрізу, зменшує період латентності перед початком ризогенезу [94,95,96,97].

Надмірне прогрівання субстрату (понад 26 °C) є небезпечним, оскільки сприяє розвитку патогенів (*Pythium*, *Phytophthora*) та викликає фізіологічне виснаження тканин [98].

Закладання адвентивних коренів залежить від концентрації внутрішніх (ендогенних) ауксинів. Температура безпосередньо впливає на їхній синтез, переміщення і стабільність [99].

За оптимальних температур ауксини активно мігрують до базальної частини живця, де накопичуються у концентраціях, достатніх для запуску процесу диференціації в кореневі клітини. За знижених температур транспорт гормонів уповільнюється, що затримує ініціацію коренів [100, 101].

Дослідження фізіології хвойних [102, 103, 104, 105] показують, що температурний стрес може порушувати гормональний баланс через зміну співвідношення ауксинів і цитокінінів, що негативно впливає на ризогенез.

Не менш важливим є стабільність температурного режиму. Різкі коливання температури створюють додаткове навантаження на тканини живця. У таких умовах: уповільнюється калюсоутворення, збільшується відсоток некрозів у зоні зрізу, знижується загальний відсоток укорінених живців [106, 107].

У дослідях [108, 109, 110, 111, 112] з укорінення декоративних форм ялини, проведених у розсадниках Центральної Європи, відзначалося, що стабільна температура субстрату в межах від 21 до 23 °C забезпечувала в середньому на 15–25 % вищий показник укорінення порівняно з варіантами без контролю температури.

В умовах Правобережної України часто спостерігаються зимові відлиги, після яких настає повторне похолодання. Такі коливання можуть призводити до часткового виходу рослин зі стану глибокого спокою та подальшого ушкодження тканин при повторному замерзанні. Навесні небезпеку становлять пізні заморозки, особливо у фазі розпускання бруньок і початку росту молодих пагонів. Молоді тканини є значно чутливішими до низьких температур, ніж здерев'янілі частини [79].

Окрім стимуляції ризогенезу, температура впливає на збереження тургору і тривалість життєздатності живця. За високих температур: посилюється дихання, швидше витрачаються запасні вуглеводи, тканини втрачають здатність до диференціації [113, 114].

За надто низьких температур живець довго перебуває у фізіологічному стані спокою, не переходячи до активного коренеутворення [115].

Вологість повітря та забезпеченість ґрунту вологою є також важливим фактором, що впливає на ріст, розвиток, продуктивність та довговічність *Picea pungens* Engelm. f. *glausa*. Незважаючи на відносну посухостійкість порівняно з іншими представниками роду *Picea*, ця порода залишається типовим мезофітом, для якого водний режим має вирішальне значення на всіх етапах онтогенезу [116, 117].

У природному ареалі ялина колюча зростає переважно в гірських районах із достатнім рівнем атмосферних опадів, рівномірним їх розподілом протягом року та відносно високою вологістю повітря. Саме такі умови сформували її анатомо-фізіологічні особливості: відносно поверхневу кореневу систему, високу чутливість до пересихання верхніх шарів ґрунту та водночас здатність витримувати короткочасні періоди дефіциту вологи [118].

Вода в організмі ялини виконує кілька фундаментальних функцій. Вона є середовищем для біохімічних реакцій, забезпечує транспорт мінеральних елементів, підтримує тургор клітин і бере участь у фотосинтезі. Порушення водного балансу одразу відображається на інтенсивності ростових процесів. За оптимального зволоження ґрунту спостерігається активне формування річних приростів, нормальний розвиток хвої та стабільне утворення генеративних органів [119, 120].

Умови достатньої вологості сприяють також повноцінному формуванню воскового нальоту на хвої, що визначає характерне сріблясто-блакитне забарвлення форми *glausa*. Дефіцит ґрунтової вологи насамперед позначається на водному потенціалі рослини. За посушливих умов продихи частково або повністю закриваються, зменшується інтенсивність транспірації, але одночасно

обмежується надходження вуглекислого газу, що призводить до зниження фотосинтетичної активності. У результаті зменшується синтез асимілятів, сповільнюється приріст пагонів, формується коротша і менш інтенсивно забарвлена хвоя. За тривалого водного стресу можливе побуріння та передчасне опадання хвої, особливо на периферії крони [121, 122].

За даними досліджень [123, 124, 125, 126, 127], у хвойних порід водний дефіцит спричиняє зниження тургору камбіальних клітин, що безпосередньо впливає на товщину річних кілець та загальну інтенсивність вторинного росту. Для декоративних форм це має не лише біологічне, а й господарське значення, оскільки зниження приросту впливає на терміни досягнення товарних розмірів.

Водночас надмірне зволоження ґрунту є не менш небезпечним. Ялина колюча негативно реагує на застій води та перезволоження, особливо в умовах важких глинистих ґрунтів. Тривале перезволоження призводить до аераційного стресу кореневої системи, порушення дихання коренів та розвитку корневих гнилей. Недостатнє надходження кисню до кореневої зони знижує поглинання мінеральних елементів, що відображається на кольорі та щільності хвої [128, 129].

Дослідник Larcher [87] зазначає, що надлишкова волога викликає гіпоксію тканин, яка запускає анаеробні процеси дихання і призводить до накопичення токсичних продуктів метаболізму. У хвойних це часто проявляється у вигляді пожовтіння хвої та відмирання частини кореневої системи.

Вологість повітря також відіграє значну роль у підтриманні стабільного функціонування фотосинтетичного апарату. За умов низької відносної вологості та високої температури посилюється транспірація, що призводить до швидкого зневоднення тканин. Особливо чутливими є молоді рослини, у яких коренева система ще недостатньо розвинена. У таких умовах спостерігається пригнічення росту та зниження декоративності [130, 131, 132].

Щодо генеративного розвитку, водний режим впливає на формування шишок, повноцінність насіння та їхню схожість. За сприятливого зволоження

формуються повноцінні насінневі зачатки, тоді як посуха в період закладання генеративних бруньок може зменшувати їхню кількість [133].

Таким чином, волога є визначальним фактором для ялини колючої форми блакитної, оскільки вона: регулює інтенсивність фотосинтезу та дихання, визначає швидкість росту пагонів і формування хвої, впливає на товщину річних приростів, забезпечує нормальний розвиток кореневої системи, визначає декоративні якості крони, впливає на генеративну продуктивність, формує адаптаційний потенціал рослини в умовах континентального клімату Правобережної України.

Вплив вологи на укорінення стеблових живців ялини колючої форми блакитної також відіграє важливу роль, оскільки після відокремлення від материнської рослини живець втрачає зв'язок із кореневою системою і повністю залежить від зовнішніх умов. У цей період навіть незначні порушення співвідношення між транспірацією та надходженням води через зріз можуть призвести до фізіологічного виснаження тканин, некрозів і загибелі живця ще до початку формування адвентивних коренів [134, 135, 136].

Для запуску калюсоутворення та подальшої диференціації корневих примордіїв, клітини повинні зберігати тургор і метаболічну активність. Саме тому підтримування високої відносної вологості повітря у зоні укорінення є критично важливим. За умов недостатньої вологості продиhi на поверхні хвої залишаються відкритими, транспірація посилюється, тканини швидко втрачають воду, що призводить до зниження внутрішньоклітинного тиску та пригнічення клітинного поділу [137, 138].

Дослідження впливу водного потенціалу на укорінення хвойних, проведене Loach [139], показало, що саме баланс між водним потенціалом живця та субстрату визначає успішність ризогенезу. Автор довів, що помірний, стабільний водний режим забезпечує кращу диференціацію корневих зачатків, тоді як надмірна сухість або перезволоження істотно знижують відсоток укорінення. Хоча експерименти проводилися на інших хвойних, отримані

фізіологічні закономірності є універсальними для представників родини Pinaceae, до якої належить і ялина колюча.

Висока відносна вологість повітря (80–95 %) у системах туманоутворення дозволяє зменшити транспіраційні втрати і підтримати стабільний водний стан живця у перші тижні після висаджування. Це особливо важливо для ялини колючої, оскільки її хвоя має значну площу випаровування, а восковий наліт, хоч і зменшує транспірацію, не може повністю запобігти втратам вологи в умовах сухого повітря. За достатньої вологості зберігається тургор базальних тканин, активніше відбувається синтез білків і ферментів, необхідних для формування калюсу [140, 141, 142].

Водночас надмірне зволоження субстрату є не менш небезпечним. Перенасичення водою призводить до зменшення аерації прикореневої зони, що викликає гіпоксію тканин [143]. У таких умовах клітини переходять на анаеробний тип дихання, накопичуються токсичні продукти метаболізму, а процеси диференціації корневих примордіїв сповільнюються або повністю припиняються. Крім того, надмірна вологість створює сприятливі умови для розвитку грибних патогенів (*Pythium* та *Phytophthora*), що часто є причиною загнивання основи живця до початку коренеутворення [144, 145].

Науково-дослідні спостереження у декоративних розсадниках свідчать, що найкращі результати укорінення ялини колючої досягаються за умов помірно вологого, добре дренованого субстрату у поєднанні з високою вологістю повітря. Такий мікроклімат забезпечує одночасно достатнє надходження води через зріз і зменшення транспірації через хвою. За цих умов зберігається оптимальний водний потенціал живця, що сприяє накопиченню ауксинів у базальній частині пагона та активізації процесу ризогенезу [146, 147, 148, 149].

Волога також впливає на швидкість формування калюсу. За стабільного водного режиму калюс утворюється рівномірно, має щільну структуру і добре диференціюється у кореневі примордії. За водного стресу калюс може бути

пухким, водянистим або, навпаки, занадто сухим, що негативно впливає на подальше укорінення [150, 151].

Субстрат, або ґрунтове середовище, є базовою екологічною основою існування *Picea pungens* Engelm. f. *glausa*, оскільки саме через кореневу систему рослина отримує воду, мінеральні елементи живлення та кисень для дихання. Фізичні, хімічні та біологічні властивості ґрунту визначають інтенсивність росту, формування кореневої системи, стійкість до абіотичних стресів і загальну декоративну якість крони [152, 153]. Для декоративних форм, зокрема форми *glausa*, це має особливе значення, оскільки будь-яке порушення ґрунтових умов відображається не лише на біологічних показниках, а й на зовнішньому вигляді рослини [154].

У природному ареалі ялина колюча зростає переважно на добре дренованих, супіщаних або кам'янистих ґрунтах гірських схилів. Такі ґрунти характеризуються достатньою повітропроникністю, помірною вологоємністю та відсутністю застою води. Це сформувало певні вимоги виду до аерації кореневої зони. Коренева система ялини колючої порівняно неглибока, значна її частина розміщується у верхніх горизонтах ґрунту, що робить рослину чутливою до ущільнення субстрату та дефіциту кисню [155, 156, 157].

Фізична структура ґрунту безпосередньо впливає на розвиток коренів. У пухких, структурних ґрунтах коренева система формується розгалуженою, з великою кількістю всмоктувальних корінців, що забезпечує ефективне поглинання води та елементів живлення [158]. В умовах ущільненого або важкого глинистого ґрунту корені розвиваються повільніше, часто спостерігається їх поверхневе розміщення та зменшення активної поглинальної площі. Це призводить до зниження інтенсивності росту надземної частини [159].

Хімічні властивості субстрату, зокрема реакція середовища (pH), мають важливе значення. Ялина колюча віддає перевагу слабокислим або близьким до нейтральних ґрунтам (pH 5,5–6,5). За лужної реакції порушується доступність мікроелементів, особливо заліза, що може спричиняти хлороз хвої. За надто

кислих умов можливе підвищене вимивання кальцію та магнію, що також негативно впливає на метаболізм рослини [160, 161, 162].

Мінеральний склад субстрату визначає інтенсивність приростів та насиченість забарвлення хвої. Достатнє забезпечення азотом стимулює ріст пагонів, однак його надлишок призводить до надмірного подовження міжвузлів і зниження щільності крони [163]. Калій підвищує стійкість до посухи та морозів, фосфор сприяє розвитку кореневої системи. Дисбаланс елементів живлення відображається на структурі хвої, її довжині, товщині та інтенсивності сизого відтінку [164].

Важливим аспектом є біологічна активність ґрунту. Ялина колюча формує симбіотичні зв'язки з мікоризними грибами, які підвищують ефективність поглинання води та мінеральних речовин. У бідних або стерильних субстратах без мікоризи рослини розвиваються повільніше, що особливо помітно у молодому віці. Наявність активної ґрунтової мікрофлори сприяє стабільності екосистеми та підвищує адаптаційний потенціал рослини [165, 166].

Негативний вплив має тривалий застій води у важких ґрунтах. У таких умовах знижується аерація, порушується дихання коренів, що призводить до їх часткового відмирання. Ослаблена коренева система не може повноцінно забезпечувати крону водою та поживними речовинами, що проявляється у зниженні приросту, пожовтінні або побурінні хвої та зменшенні декоративності [167, 168].

Субстрат, у якому висаджують живці для вкорінення, є важливим фактором, саме фізичні та фізико-хімічні властивості середовища визначають доступ повітря до базальної частини живця, здатність до утримання оптимальної кількості вологи, механічний контакт тканин із середовищем [169].

Наукові дослідження показують [170, 171, 172], що показники вкорінення живців хвойних значно залежать від типу та складу субстрату. У роботі [173] з вегетативного розмноження *Pinus mugo* відзначено, що середовища з добре вираженими аераційними властивостями й оптимальними

фізичними характеристиками сприяють вищому відсотку укорінених живців, вищій кількості сформованих коренів та кращій їхній якості.

Одним із найчастіше досліджуваних компонентів субстрату є торф'яний мох. Торф має високу здатність утримувати вологу, є доволі стерильним і має стабільну структуру частинок, що забезпечує гарну аерацію. Дослідження на іншому хвойному виді – туї складчастої (*Thuja plicata*) показали, що торф'яні середовища забезпечували високий відсоток укорінених живців та хорошу якість кореневої системи порівняно з деякими іншими органічними субстратами чи компостуванням сумішей [174]. Це важливо, оскільки такі фізичні характеристики субстрату, як пористість і водо-повітряний баланс, прямо впливають на здатність тканин живця підтримувати метаболічну активність і адвентивне коренеутворення.

Однак торф не є єдиним варіантом. У експериментах із іншими хвойними [164] (*Pinus mugo*) було показано, що суміші, що містять неорганічні компоненти – пісок, перліт, кокосові волокна, можуть давати кращі результати, ніж чистий органічний субстрат. У дослідженні [173] з гірською сосною (*Pinus mugo*) порівнювали ґрунтові суміші з піском, перлітом, кокосовим субстратом та їх комбінаціями. Результати показали, що комбінації піску з перлітом чи піску з кокосовим субстратом сприяли кращому вкоріненню й розвитку кореневої системи живців порівняно з використанням кожного компонента окремо. Це узгоджується з біологічними особливостями хвойних живців, які потребують водночас і достатньої вологоємності, і хорошої аерації для запобігання гнилям та гіпоксії тканин.

Субстрати з високою повітропроникністю та помірною здатністю утримувати воду є оптимальними для формування коренів у живців, оскільки вони не допускають надмірного зволоження, яке може призводити до розвитку патогенів і руйнування тканин у зоні коренеутворення. У класичних практичних методах розсадницького живцювання хвойних рослин саме суміші з перлітом, грубим піском, вермикулітом або торфом у різних пропорціях часто рекомендуються як базові Hartmann та ін. [175] оскільки вони поєднують

здатність утримувати необхідну вологу з хорошою аерацією, що необхідно для розвитку кореневих примордіїв і подальшого їхнього росту. Перліт виконує роль інертного структуроутворювача: він підвищує повітропроникність, запобігає ущільненню і зменшує ризик анаеробних умов.

Дослідження укорінення інших хвойних, зокрема сосни та ялиці, демонструють, що суміші «торф + перліт» у співвідношенні 1:1 або 2:1 часто забезпечують вищий відсоток укорінення порівняно з чистим торфом [176, 177, 178]. Підвищення макропористості сприяє покращенню насиченням кисню тканин у зоні базального зрізу живця та може збільшувати відсоток укорінення на 10–30 % залежно від виду та екологічних умов. Водночас надмірна щільність або перезволоження субстрату створюють анаеробні умови, що гальмують формування адвентивних коренів [179, 180].

Дослідження впливу різних компонентів на вкорінення живців сосни звичайної (*Pinus spp.*), встановило, що субстрати зі значним вмістом неорганічних матеріалів (перліт, кокосові волокна тощо) у поєднанні з органічними компонентами давали більш високе число сформованих коренів і кращу якість кореневої системи, ніж чисті органічні суміші чи важкі ґрунти [181]. Такий результат пояснюється тим, що коренеутворення починається в умовах, де доступ кисню високий, а водний потенціал підтримується стабільно, що зменшує ризик механічного ушкодження тканин і сприяє диференціації меристемних клітин у зачатки коренів.

Так, у експериментальному дослідженні [182], порівнювали стандартний субстрат із перегною та торфом проти сумішей, які додатково містили пісок, встановлено, що суміші з піском значно підвищували відсоток укорінених живців у порівнянні з традиційними сумішами перегною та торфу без піску, що підкреслює важливість структури субстрату для усунення застою води і покращення аерації.

У дослідженні Abshahi та ін. [183], встановлено суттєвий вплив складу субстрату на укорінення живців *Juniperus sabina*. Автори порівнювали перліт, кокосовий субстрат, їх суміш (1:1) та пемзу. Найвищий відсоток укорінених

живців (понад 60 % за оптимальної гормональної обробки) зафіксовано у варіанті перліт + кокосовий субстрат. Комбінований субстрат забезпечував кращу макропористість та стабільну аерацію прикореневої зони, що зменшувало ризик анаеробних умов і пригнічення коренеутворення. Крім того, у цьому варіанті формувалася більша кількість первинних коренів на живець.

У дослідженні Silva Filho та ін. [181], досліджували клональне розмноження видів *Pinus*. Найкращі результати укорінення (до 75–80 % залежно від генотипу) отримано у варіанті кокосовий субстрат + перліт (1:1). У цьому середовищі відзначено формування більш розгалуженої кореневої системи – з більшою довжиною та кількістю первинних коренів. Автори пояснюють це оптимальним співвідношенням макропор, які забезпечують ефективну аерацію, та мікропор, що утримують достатню кількість вологи.

1.5 Вплив стимуляторів

Процес утворення адвентивних коренів у стеблових живців хвойних порід є складним інтегрованим явищем, що включає морфогенетичні, фізіолого-біохімічні та молекулярні перебудови тканин у відповідь на поранення та зміну гормонального балансу [184]. Для представників родини *Pinaceae*, зокрема роду *Pinus*, характерна знижена регенераційна здатність порівняно з багатьма листяними породами, що пов'язано з високим ступенем лігніфікації тканин, специфікою камбіальної активності та особливостями гормонального балансу [185].

Адвентивний ризогенез можна розглядати як інтегрований процес, у якому поєднуються гормональна сигналізація, генетична регуляція та метаболічна перебудова клітин [186]. Для *Pinus pungens* ці механізми ускладнюються високим ступенем вторинного потовщення пагонів і накопиченням фенольних сполук, що можуть впливати на активність ауксиноксидаз і стабільність індол-3-оцтової кислоти (ІОК), яка є природним ендогенним стимулятором для утворення адвентивних корінців [187]. Саме тому застосування екзогенних регуляторів росту спрямоване на посилення

ауксинового сигналу в індукційній фазі та підвищення частоти формування кореневих примордіїв.

Сучасні фізіолого-молекулярні дослідження [188, 189, 190, 191] підтверджують, що успішність вкорінення живців хвойних визначається не лише концентрацією екзогенного стимулятора, а й здатністю тканин до гормональної відповіді, рівнем метаболічної активності та генетично обумовленою морфогенетичною компетентністю клітин. Це положення має принципове значення для подальшого аналізу ефективності стимуляторів росту при вкоріненні живців ялини колючої форма блакитна в умовах Правобережної України.

Окрім гормональної сигналізації, суттєве значення у формуванні адвентивних коренів має регуляція клітинної компетентності та епігенетичні перебудови, що відбуваються після відокремлення живця від материнської рослини. У деревних видів перехід від диференційованого стану клітин до меристематичної активності пов'язаний зі змінами експресії генів, відповідальних за ремоделювання хроматину, метилювання ДНК та перебудову транскрипційних мереж. Наголошується, що саме епігенетична пластичність визначає здатність клітин кори та камбіальної зони до реактивації поділу. Автор наголошує, що у зрілих дерев цей потенціал знижується, що пояснює вікову залежність успішності вкорінення живців [189].

Окремої уваги заслуговує роль вуглеводів як регуляторів морфогенезу. Сучасні дослідження свідчать, що цукри виконують не лише енергетичну, а й сигнальну функцію, взаємодіючи з гормональними шляхами регуляції. Також зазначається, що ауксин-індукована ініціація коренів відбувається за умови достатнього рівня вуглеводного забезпечення, а дефіцит асимілянтів обмежує формування кореневих примордіїв навіть за наявності високих концентрацій гормону. Для хвойних рослин це має особливе значення, оскільки частина продуктів фотосинтезу спрямовується на синтез смол та фенольних сполук, що може зменшувати доступний запас вуглеводів для морфогенезу [188].

Крім того, сучасні дослідження підкреслюють значення просторової організації тканин у зоні зрізу. Анатомічна будова пагонів хвойних, включно з *Picea pungens*, характеризується добре розвиненою системою смоляних ходів і товстими вторинними стінками клітин, що може створювати механічні та фізіологічні бар'єри для формування корневих примордіїв [192, 193, 194]. У роботах [195, 196, 197] присвячених деревним видам, підкреслюється, що ефективність стимуляції значною мірою залежить від здатності ауксину проникати в камбіальну зону та підтримувати там достатню концентрацію протягом індукційного періоду.

Процес адвентивного ризогенезу демонструє, що визначальним є не лише факт присутності ауксину, а його концентраційна динаміка та тривалість дії у тканинах основи живця [198].

Наголошується, що короточасний пік концентрації ауксину запускає індукційну фазу, однак для стабільного формування корневих примордіїв необхідне підтримання оптимального гормонального градієнта протягом певного періоду. Занадто висока концентрація або тривала дія стимулятора може призвести до надмірного розростання калюсу без подальшого утворення коренів, що особливо характерно для деревних видів, які важко вкорінюються [199].

Для *Picea pungens* додатковим обмежувальним чинником для природного ризогенезу є висока частка вторинних тканин у напівздерева́нелих пагонах. Формування корневих примордіїв можливе лише за умови активності камбію або прилеглих паренхімних клітин, тому фізіологічний стан цих тканин на момент заготівлі живців має визначальне значення. Сезонні коливання інтенсивності камбіальної активності безпосередньо впливають на швидкість стимуляції ризогенезу та виходячи із цього на відсоток вкорінених живців [200, 201].

У практиці вегетативного розмноження *Picea pungens* Engelm. f. *glauca* стимулятори коренеутворення фактично є ключовим елементом технології, оскільки природна здатність напівздерева́нелих живців цієї форми до

адвентивного ризогенезу є низькою. Без застосування стимуляторів росту відсоток укорінення є мінімальний, а формування повноцінної кореневої системи відбувається повільно й нерівномірно. Саме тому у розсадницькій практиці та експериментальних дослідженнях використовують насамперед препарати з ауксиною активністю [202].

Провідне місце серед стимуляторів займає індол-3-масляна кислота (ІМК). Її ефективність у хвойних пояснюється відносною стабільністю у тканинах живців та здатністю формувати достатньо тривалий гормональний вплив у зоні зрізу [203]. На відміну від ІОК, яка швидко окислюється, ІМК забезпечує більш контрольовану індукцію корневих примордіїв. У більшості досліджень саме ІМК демонструє найвищу результативність для представників роду *Picea*. Її застосовують у різних концентраціях, що дозволяє адаптувати режим оброблення до ступеня здерев'яніння пагонів і фази їх розвитку [204].

Для *Picea pungens* f. *glauca* особливо важливим є правильний вибір концентрації та експозиції. Надто слабкий розчин не забезпечує достатнього гормонального імпульсу для ініціації клітин камбіальної зони, тоді як перевищення оптимальної дози може спричинити фітотоксичну дію на тканини основи живця або надмірне калюсоутворення без переходу до органогенезу. Практичні спостереження свідчать, що для напівздерев'янілих живців оптимальним є короткочасний вплив відносно високої концентрації або ж помірна концентрація з обмеженою тривалістю замочування. Саме поєднання цих двох параметрів визначає кінцевий результат [205].

Другою за поширеністю діючою речовиною є нафтилоцтова кислота (НОК). Вона характеризується вираженою ауксиноподібною активністю, однак її дія часто є більш жорсткою порівняно з ІМК. Для хвойних, у тому числі для *Picea pungens* f. *glauca*, НОК може стимулювати інтенсивне калюсоутворення, але не завжди забезпечує формування морфологічно повноцінних коренів. Тому у технологіях живцювання декоративних форм ялини її використовують обережно, переважно в нижчих концентраціях або в комбінації з ІМК [191, 206].

Окрім класичних ауксинів, іноді використовують комплексні біостимулятори, що містять амінокислоти, гумінові сполуки або екстракти водоростей. Їх дія полягає не стільки у прямій індукції ризогенезу, скільки у зменшенні стресу після відокремлення живця від маточної рослини. Для ялини колючої ці препарати можуть покращувати загальний фізіологічний стан тканин, однак без додавання ауксину вони рідко забезпечують високий відсоток укорінення [207, 195]. Тому їх доцільніше розглядати як допоміжний компонент технології.

Окремої уваги заслуговує спосіб застосування стимулятора. У практиці розсадників використовують короткочасне занурення в концентровані розчини, тривале замочування у слабких розчинах або обпудрювання порошком [208]. Для напівздерев'янілих живців *Picea pungens* f. *glauca* більш ефективним зазвичай є короткочасний контакт із препаратом, що забезпечує швидкий гормональний імпульс без тривалого перенасичення тканин [209, 210].

Слід також враховувати, що дія стимулятора реалізується лише за відповідних умов середовища. Навіть оптимальна концентрація ІМК не забезпечить високого відсотка укорінення за нестабільної температури субстрату або недостатньої вологості повітря. У хвойних культур формування адвентивних коренів відбувається повільно, тому стабільність мікроклімату в теплиці має не менше значення, ніж сама обробка гормоном [198].

Окрему категорію становлять комбіновані препарати промислового виробництва, зокрема порошкові форми на основі ІМК різної концентрації, такі як Rhizorop. Їх особливістю є стандартизована доза діючої речовини та зручність застосування у розсадницькій практиці. У дослідженнях, проведених на різних хвойних культурах, зазначається, що порошкова форма дозволяє уникнути передозування, характерного для рідких розчинів, та забезпечує локалізовану дію у зоні зрізу живця [211].

Даний препарат мінімізує ризик помилок при приготуванні розчинів. Це особливо важливо для хвойних порід, де перевищення оптимальної дози може швидко призвести до пригнічення ризогенезу. Для хвойних це має особливе

значення, оскільки навіть незначне перевищення оптимальної концентрації може негативно вплинути на життєздатність тканин [212].

У дослідженні Silva Filho та ін. [181], в якому укорінювали живці *Pinus spp.*, встановлено, що застосування ІМК в середніх концентраціях забезпечувало підвищення відсотка вкорінення до 40–55 % залежно від виду, тоді як у контролі показники не перевищували 10–15 %. Науковці наголошують, що перевищення оптимальної дози призводило до зниження частоти формування повноцінних кореневих систем та збільшення частки калюсних утворень без органогенезу. Така залежність підтверджує наявність чітко вираженого концентраційного оптимуму для хвойних порід. В одному із варіантів дослідження живці обробляли препаратом Clonex шляхом короткочасного занурення базальної частини у гель, після чого висаджували у різні субстрати (кокосове волокно, пісок, торф'яні суміші). Отримані результати показали, що застосування Clonex сприяло підвищенню ефективності укорінення живців. Зокрема, у *Pinus lambertiana* при використанні кокосового субстрату укорінення досягало близько 80 %, що було одним із найвищих показників серед досліджуваних варіантів. У *Pinus ponderosa* препарат також позитивно впливав на ризогенез, забезпечуючи приблизно 40 % укорінення, що перевищувало контрольні варіанти. Крім того, встановлено, що застосування Clonex стимулювало формування більшої кількості головних коренів у живців, що свідчить про активний вплив екзогенного ауксину на процеси коренеутворення.

У дослідженні Naveen P. Bhatia та ін. [213] було оцінено ефективність різних регуляторів росту, зокрема комерційного препарату Clonex, під час вегетативного розмноження *Stackhousia tryonii* живцями. Встановлено, що застосування ауксинів суттєво підвищує виживання та укорінення живців. Найвищі показники ризогенезу отримано при використанні Clonex. У сприятливому субстраті (пісок) препарат забезпечував на 60–70 % більший відсоток укорінення порівняно з менш придатними субстратами. Крім підвищення частоти укорінення, обробка Clonex сприяла формуванню більшої

кількості первинних коренів, що підтверджує ефективність препаратів на основі ауксинів для стимуляції адвентивного ризогенезу під час вегетативного розмноження рослин.

Аналогічну закономірність продемонстровано у дослідженні Lone та ін. [214] при роботі з *Cupressus macrocarpa*, де використання ІМК у межах 1000–3000 мг/л суттєво підвищувало відсоток укорінення порівняно з контролем (до 60–70 % проти 20 % у необроблених стимулятором живцях). Водночас за підвищених концентрацій спостерігалось пригнічення росту коренів та зменшення їх довжини. Науковці підкреслюють, що надмірна гормональна дія порушує диференціацію клітин, що є важливим для подальшої життєздатності саджанців.

Для представників роду *Picea* показовими є результати, отримані для *Picea abies* у дослідженні OuYang F. та ін. [215], де встановлено, що оброблення ІМК достовірно підвищувало відсоток укорінення порівняно з контролем, однак ефективність істотно залежала від розміру живця та його фізіологічного стану. Автори відзначають, що оптимальна доза стимулятора забезпечувала не лише більший відсоток укорінених екземплярів, а й формування більш розвиненої кореневої системи, що прямо впливало на приживлюваність у подальшій культурі. А також досліджено що для *Picea abies* короткочасне занурення в ІМК виявилось ефективнішим порівняно з тривалим замочуванням, оскільки забезпечувало вищий відсоток укорінення та кращу морфологію кореневої системи.

В праці Díaz-Sala [189] підкреслюється, що для деревних рослин, зокрема хвойних, характерна висока залежність результативності ризогенезу від генотипу та віку маточних рослин. Встановлено, що зі збільшенням віку донорних дерев чутливість тканин до екзогенних ауксинів знижується, що пояснюється змінами епігенетичного профілю та зменшенням морфогенетичної пластичності клітин. Це положення є принциповим при інтерпретації результатів досліджень на декоративних формах *Picea pungens* f. *glauca*.

У дослідженні Steffens та Rasmussen [190] зазначається, що незалежно від хімічної складової стимулятора, ключовим чинником є здатність препарату запускати в клітинах роботу генів, які відповідають за утворення коренів. Саме тому препарати на основі ауксинів залишаються основними в технології живцювання хвойних порід.

У практиці садівництва використовують три основні методи: короткочасне занурення у концентровані розчини, тривале вимочування у розчинах низької концентрації та обпудрювання порошковими формами. Дослідження на *Picea* та *Pinus* показують, що метод короткочасного занурення з ІМК у високій концентрації протягом кількох секунд забезпечує швидкий гормональний імпульс без надмірного насичення тканин, тоді як тривала експозиція в слабких розчинах створює більш рівномірний, але потенційно тривалий вплив. Вибір методу визначається анатомічними особливостями живця, ступенем його здерев'яніння та здатністю тканин до поглинання стимулятора [216, 217].

Сучасні дослідження [184, 218] підтверджують, що нафтилоцтова кислота (НОК) залишається одним із найбільш стабільних синтетичних ауксинів, який активно застосовується для стимуляції адвентивного ризогенезу у деревних і чагарникових видів. На відміну від ІМК, НОК характеризується вищою хімічною стабільністю та тривалою дією в тканинах живця, що обумовлює її ефективність у випадках, коли необхідна триваліша ауксинова стимуляція.

У дослідженні на живцях *Camellia sinensis* показано, що застосування НОК у концентраціях 100–500 мг/л підвищувало відсоток укорінення та стимулювало формування більшої кількості кореневих примордіїв порівняно з контролем. Науковці відзначають активацію генів ауксинової сигналізації, що свідчить про прямий вплив НОК на молекулярні механізми ініціації коренів [184].

У дослідженні [219] щодо *Vitis vinifera* встановлено, що застосування НОК у діапазоні 500–1500 мг/л сприяло скороченню індукційного періоду

ризогенезу та підвищенню відсотка укорінення напівздерев'янілих живців на 20–35 % порівняно з необробленими варіантами. При цьому автори відзначають чітку залежність від дозування: перевищення оптимальної концентрації викликало надмірне калюсоутворення та пригнічення формування кореневих примордіїв.

У дослідженні Tang та ін. [186] досліджували комбінований вплив нафтилоцтової кислоти (НОК) та ґрунтового симбіотичного гриба *Piriformospora indica* на процес укорінення живців трьох видів декоративних рослин (*Rhododendron simsii*, *Jasminum sambac* і *Rosa chinensis*). У цьому експерименті живці попередньо обробляли концентрацією НОК 200 мг/л після чого висаджували в субстрат, з подальшим регулярним внесенням грибної суспензії. Контрольна група висаджувалася без будь-яких стимуляторів та без симбіотичного гриба. Результати показали, що поєднання НОК + симбіотичного гриба, суттєво підвищувало відсоток укорінених живців порівняно з контролем. Зокрема, для *Rosa chinensis* показник укорінення зріс до приблизно 85 %, що значно перевищувало показник у контрольній групі. Крім того, комбінація стимулятора і гриба сприяла прискоренню індукції коренів на 1–2 дні порівняно з контролем, що вказує на більш швидкий перехід до стадії формування кореневих примордіїв. Значні покращення спостерігалися також у показниках виживання живців, в цілому на 9 – 36 % залежно від виду порівняно з контрольним варіантом досліджу. Під впливом НОК та симбіотичного гриба також спостерігалися поліпшення фізіологічних показників: підвищення вмісту хлорофілу та вільних амінокислот (що є маркерами активної метаболічної діяльності живців), а також збільшення загальної маси та висоти рослин.

У дослідженнях Varssini та ін. [220]. досліджено вплив різних ІМК та НОК (3000–5000 мг/л) у поєднанні з різними субстратами на морфогенетичні показники живців *Ficus carica* L. Автори показали, що обробка НОК у високих концентраціях позитивно впливала на формування кореневої системи, зокрема збільшувала кількість коренів на живець, їх середню довжину та масу сирої біомаси. При цьому встановлено суттєву взаємодію факторів регулятор росту та

субстрату, що свідчить про гормональну відповідь рослини залежно від умов аерації, здатності утримувати вологу та фізико-хімічних характеристик середовища укорінення. Найвищі показники ризогенезу відзначено у варіантах із добре дренованими субстратами, що забезпечували оптимальне співвідношення води та повітря в зоні формування коренів.

Аналогічні дослідження були проведені Naleta ін. [221], де оцінювали ефективність НОК та ІМК у діапазоні 500–2500 мг/л для укорінення здерев'янілих живців *Ficus carica* L. Отримані результати продемонстрували достовірне підвищення відсотка укорінених живців порівняно з контролем, а також збільшення кількості адвентивних коренів, їх довжини та сумарної кореневої маси. Автори підкреслюють, що концентрації НОК (1000–2000 мг/л) забезпечували оптимальний баланс між індукцією корневих примордіїв і подальшим ростом коренів, тоді як надмірні дози могли спричиняти пригнічення або формування калюсної тканини без повноцінної диференціації.

Висновки до розділу 1

1. Встановлено, що досліджувана форма належить до родини Pinaceae і є внутрішньовидовим таксоном *Pinus pungens*, природний ареал якого охоплює гірські райони Північної Америки (система Скелястих гір). Формування у високогірних умовах зумовило розвиток морозо- й посухостійкості, толерантності до інтенсивної інсоляції та температурних коливань, що забезпечило успішну інтродукцію виду в Європі та Україні.

2. Форма *glauca* характеризується чітким центральним стовбуром, правильною конічною кроною, мутовчатим галуженням і жорсткою чотиригранною хвоєю сизо-блакитного забарвлення. Восковий наліт визначає декоративність і водночас виконує захисну функцію – регулює транспірацію та підвищує стійкість до посухи й надмірної радіації.

3. Насіннєве розмноження форми *glauca* є малоефективним через генетичну мінливість потомства і нестабільність успадкування блакитного забарвлення, що не забезпечує однорідності садивного матеріалу.

4. Найбільш перспективним способом відтворення є стеблове живцювання, яке гарантує генетичну ідентичність рослин, однак вид характеризується відносно низькою природною здатністю до адвентивного утворення коренів.

5. Успішність ризогенезу визначається екологічними чинниками. Оптимальною для укорінення є температура субстрату 20–24 °C; відхилення від цього діапазону знижують життєздатність тканин. Водний режим також критичний: дефіцит вологи пригнічує фотосинтез і ріст, а перезволоження спричиняє аераційний стрес і розвиток гнилей. Оптимальне поєднання температури, вологості та властивостей субстрату є умовою ефективного укорінення.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Кліматичні умови, об'єкт та методика дослідження

Середньорічна температура в зоні Правобережного Лісостепу України повітря становить 8,5...9,5 °С. Найхолоднішим місяцем є січень із середніми температурами -4...-6 °С, однак в окремі роки можливе зниження до -20...-25 °С. Найвищі температури спостерігаються в липні, середні значення якого становлять 19...21 °С, при максимальних показниках у спекотні періоди до 32...35 °С. Тривалість без морозного періоду складає в середньому 160–180 діб.

Річна сума атмосферних опадів коливається в межах 450–550 мм, причому близько 65–70 % їх припадає на теплий період року (квітень – жовтень). Літні опади часто мають зливовий характер. Сніговий покрив узимку нестійкий, його середня висота становить 10–20 см. Відносна вологість повітря протягом року змінюється в межах 65–80 %, з мінімальними значеннями у весняно-літній період.

Ґрунтовий покрив території представлений переважно чорноземами типовими та чорноземами опідзоленими, сформованими на лесових відкладах. За гранулометричним складом вони переважно середньосуглинкові. Потужність гумусового горизонту сягає 60–80 см, вміст гумусу становить 3,5–5,0 %. Реакція ґрунтового розчину – слабокисла або близька до нейтральної (рН 5,8–6,8). Ґрунти характеризуються високою природною родючістю, доброю здатністю утримувати вологу та достатньою аерацією, що є сприятливим для вирощування декоративних хвойних культур.

Наведені ґрунтово-кліматичні умови є сприятливими для вирощування декоративних хвойних рослин. Поєднання помірного температурного режиму, достатнього рівня зволоження та родючих ґрунтів створює передумови для успішного вирощування *Picea pungens* f. *glauca* в умовах Правобережного Лісостепу України

Експериментальні дослідження з вегетативного розмноження *Picea pungens* f. *glauca* проводилися впродовж 2023-2025 років на території Уманського національного університету (м. Умань, Черкаська область, Україна), який розташований в зоні Правобережного Лісостепу України.

У якості об'єктів дослідження слугували маточні рослини, віком від 8 до 12 років, з яких заготовляли живці. Використання саме молодих дерев обґрунтоване даними досліджень Girouard [224], згідно з якими укорінюваність живців хвойних порід істотно знижується зі збільшенням віку материнських дерев. Маточні рослини знаходилися в розсаднику «Софіївка» в м. Умань.

Маточні рослини характеризувалися задовільним санітарним станом: без механічних пошкоджень, ознак грибкових уражень чи хлорозу хвої. Крони були рівномірно сформовані, із добре розвиненими пагонами поточного та попереднього року. Рослини не мали ознак фізіологічного старіння або пригнічення ростових процесів (рис. 2.1).



Рис. 2.1 Маточна рослина ялини колючої форми блакитної, використана для заготівлі живців

Рослина відзначається високими декоративними властивостями та широко використовується в озелененні. Маточні рослини досягали висоти 2,5–3,0 м, формували правильну конічну крону, шириною 1,5–2,0 м та характеризувалися мутовчастим розміщенням гілок. Стовбур вкритий сірувато-бурою корою, яка з віком розтріскується на дрібні луски. Пагони жорсткі, густо вкриті хвоєю. Хвоя чотиригранна, жорстка й колюча, завдовжки 2–3 см, розміщується радіально навколо пагона. Характерною ознакою форми *glausa* є сріблясто-блакитне або сизувато-блакитне забарвлення хвої, зумовлене наявністю воскового нальоту на її поверхні. Рослина є однодомною: чоловічі та жіночі генеративні органи формуються на одній особині. Шишки видовжено-циліндричні, завдовжки 6–8 см, після досягання набувають світло-коричневого забарвлення та містять дрібне крилате насіння. Коренева система добре розвинена, у молодому віці стрижнева, з віком стає більш розгалуженою і поверхневою [222, 223].

Заготівлю проводили з верхньої третини крони маточних рослин, використовуючи апікальні пагони із добре сформованою верхівковою брунькою.

Вибір саме апікальних пагонів був зумовлений їхніми біологічними особливостями. Такі пагони характеризуються більшою фізіологічною активністю, вираженим апікальним домінуванням, активнішим синтезом ендогенних ауксинів та здатністю формувати типовий вертикальний характер росту. Крім того, використання апікальних пагонів дозволяє отримувати більш однорідний садивний матеріал із характерною для *Picea pungens* f. *glausa* симетричною конічною формою крони.

На відміну від апікальних, латеральні пагони у хвойних рослин можуть зберігати властивий їм плагіотропний тип росту після укорінення, що нерідко призводить до формування асиметричних або багатoverхівкових рослин.

Живці перебували у фазі здеревяніння, що забезпечувало оптимальне співвідношення між інтенсивністю ростових процесів і ступенем диференціації

тканин. Заготівлю живців проводили у ранкові години, коли рослини характеризувалися максимальним рівнем тургору тканин.

Перевагу надавали пагонам середньої товщини, уникаючи надто тонких або надмірно потовщених, оскільки морфометричні параметри живця суттєво впливають на показники ризогенезу. За результатами досліджень OuYang та ін. [215] для ялини європейської (*Picea abies*) оптимальна довжина живців становить 9–12 см при діаметрі 0,3–0,4 см. Враховуючи близькість біологічних особливостей представників роду *Picea*, у дослідженні використовували живці довжиною 8–12 см із діаметром основи близько 0,3–0,5 см. Зовнішній вигляд заготовлених живців наведено на рис. 2.2.



Рис. 2.2. Живці ялини колючої форми блакитної, використані для укорінення

Укорінення стеблових живців ялини колючої форми блакитної проводили в стаціонарній теплиці, розташованій на території Уманського національного університету, в теплиці в с. Собківка та в теплиці на території дендропарку «Софіївка» в м. Умань. Вибір саме тепличних умов був

зумовлений необхідністю забезпечення стабільного мікроклімату впродовж усього періоду ризогенезу, оскільки процес укорінення хвойних рослин є чутливим до коливань температури, вологості повітря та субстрату.

Для створення оптимальних умов укорінення використовували тепличні споруди арочного типу з металевим каркасом, вкритим полікарбонатом.

Бічні частини теплиці обладнані підйомними вентиляційними секціями, а у верхній частині передбачені фрамуги для природного провітрювання. Така система забезпечувала регулювання температури повітря та протидіяла перегріву у періоди інтенсивного сонячного випромінювання. У спекотні дні вентиляційні отвори відкривали вручну, що забезпечувало підтримування стабільних мікрокліматичних параметрів.

Поверхня ґрунту вирівняна, забезпечено відведення надлишкової вологи, що запобігало застою води та вторинному інфікуванню субстрату.

Полікарбонат характеризується високою світлопроникністю та водночас створює помірний парниковий ефект, що сприяє підтриманню стабільної температури у прикореневій зоні. За потреби застосовували притінення шляхом часткового екранування внутрішньої поверхні покриття, що дозволяло знизити інтенсивність прямої сонячної радіації без істотного зменшення тривалості освітлення.

Укорінення здійснювали за умов природного освітлення без застосування додаткових джерел світла. Світловий режим визначався сезонними змінами тривалості дня, характерними для регіону досліджень.

З метою запобігання надмірній інсоляції в періоди інтенсивного сонячного випромінювання застосовували притінення шляхом накриття полікарбонатного покриття теплиці притінювальною сіткою із світлопроникністю 45–55 %. Це забезпечувало формування розсіяного світлового режиму, оптимального для збереження фотосинтетичної активності хвої без ризику перегрівання та фотодеструкції тканин.

Зважаючи на відсутність у живців повноцінної кореневої системи на початкових етапах укорінення, підтримання підвищеної відносної вологості

повітря було обов'язковою умовою проведення досліду. Вологість повітря в теплиці утримували на рівні 80–90 % у перші тижні після висаджування живців у субстрат. У подальшому, після початку утворення калюсу, показник поступово знижували до 70–75 %, що сприяло адаптації рослин до менш насиченого водяною парою середовища.

Підвищення вологості забезпечували шляхом регулярного дрібнодисперсного зволоження повітря в теплиці. Такий режим дозволяв мінімізувати транспіраційні втрати та запобігти підсиханню тканин живців.

У процесі укорінення особливу увагу приділяли підтриманню оптимального водного режиму субстрату. Надмірного перезволоження намагалися уникати, оскільки це призводить до погіршення повітряного режиму в зоні ризогенезу, закисання субстрату, загнивання основи живців та підвищує ризик розвитку патогенної грибової мікрофлори. Зволоження проводили помірно, з урахуванням температурних умов та стану субстрату.

Навесні (квітень) температурний режим у теплиці характеризувався помірними показниками. У денний час температура повітря становила 16...20 °С, у нічний 10...14 °С. Завдяки парниковому ефекту полікарбонатного покриття температура всередині споруди перевищувала зовнішню на 4–6 °С.

Денна температура повітря влітку підтримувалася в межах від 28 до 32 °С, інколи підвищувалася до 34 °С, однак за допомогою вентиляції не допускали перевищення цього рівня. У нічний час температура знижувалася до 22–24 °С, що створювало помірний термічний градієнт, сприятливий для активізації фізіологічних процесів у тканинах живців.

Температура субстрату у зоні розміщення основи живців становила 26...28 °С. У вересні–жовтні температура в теплиці поступово знижувалася відповідно до зовнішніх кліматичних умов. Денна температура становила 20...24 °С, нічна 12...18 °С. У цей період укорінені живці переходили у фазу відносної стабілізації ростових процесів, відбувалося поступове визрівання тканин і підготовка до періоду спокою.

Вимірювання температури здійснювали за допомогою спиртових термометрів і ґрунтових термодатчиків, розміщених безпосередньо у зоні укорінення живців. У разі підвищення температури понад оптимальні значення застосовували провітрювання теплиці, що дозволяло уникнути перегрівання та зниження тургору хвої.

Зимовий період (листопад – лютий) теплиця функціонувала в режимі мінімального температурного підтримання. За рахунок полікарбонатного покриття та природного парникового ефекту температура в сонячні дні могла підвищуватися до 5...10 °С, тоді як у нічний час наближалася до 0...3 °С.

Живці зрізали секатором без формування «п'ятки», тобто без залишення фрагмента кори материнської гілки. Такий спосіб заготівлі є технологічно простішим і, за даними Girouard [224], не поступається за ефективністю живцям із «п'яткою», при цьому значно спрощує масове розмноження. Зріз виконували гострим секатором під прямим кутом до осі пагона.

Заготівлю живців проводили у весняний період – початок квітня, до початку інтенсивного росту пагонів.

Вибір цього терміну зумовлений оптимальним співвідношенням вуглеводів та фітогормонів у тканинах пагонів, що позитивно впливає на інтенсивність калусоутворення та закладання кореневих примордіїв.

Після заготівлі живці одразу транспортували до теплиці у вологому середовищі, запобігаючи їх підсушуванню. Перед висаджуванням нижню частину живця (приблизно 2–3 см) очищали від хвої, не пошкоджуючи кору та камбіальний шар. Видалення хвої у прикореневій зоні забезпечувало кращий контакт із субстратом та зменшувало ризик загнивання.

Як середовище для укорінення застосовували суміш річкового піску та верхового торфу у співвідношенні 1:1. Річковий пісок виконував функцію структуроутворюючого та дренажного компоненту. Він забезпечував достатню повітропроникність, запобігав ущільненню середовища та створював сприятливі умови для газообміну в зоні формування адвентивних коренів.

Фракція піску була середньозернистою, без домішок глинистих часток і органічних залишків.

Верховий торф, у свою чергу, забезпечував вологоємність субстрату та підтримував стабільний гідрорежим. Його використання дозволяло уникнути різких коливань вологості, що особливо важливо на ранніх етапах калюсоутворення. Торф мав добру структуру, без сторонніх включень, із волокнистою консистенцією, що сприяла рівномірному розподілу води в субстраті.

Співвідношення 1:1 дозволяло досягти оптимального балансу між водоутримувальною здатністю та повітропроникністю. За такого поєднання субстрат залишався достатньо пухким, не злежувався в процесі поливів і забезпечував стабільний контакт основи живця з вологим середовищем.

Реакція субстрату була слабнокислою – рН 5,5–6,0. Такий показник відповідає природним едафічним умовам зростання ялини колючої.

Перед закладанням досліду субстрат підлягав попередній підготовці з метою знищення патогенних мікроорганізмів та насіння бур'янів. Пісок промивали проточною водою для видалення пилоподібних і мулистих фракцій.

Суміш піску та торфу після ретельного перемішування піддавали термічній обробці – пропарюванню. Пропарювання проводили за температури близько 90–95 °С протягом 30–40 хвилин. Така обробка дозволяла суттєво знизити чисельність фітопатогенів, личинок шкідників та інших небажаних ґрунтових шкідників, не порушуючи при цьому фізичну структуру субстрату.

Після охолодження субстрат рівномірно зволожували до стану помірної вологості (70–75 % від повної вологоємності), що забезпечувало його готовність до висаджування живців. Живці висаджували у підготовлений субстрат на глибину 2–3 см. Така глибина забезпечувала достатній контакт нижньої частини пагона із вологим середовищем та сприяла стабільному положенню живця в субстраті. Після висаджування субстрат навколо живця злегка ущільнювали для усунення повітряних порожнин та покращення контакту з тканиною пагона.

Укорінення живців хвойних рослин проводили у дерев'яних коробах (рис. 2.3) шириною 1,0–1,2 м, довжиною 4 м і висотою близько 25–30 см. На дно конструкції укладали дренажний шар товщиною 10–15 см із гравію або щебеню, поверх якого насипали поживний субстрат (дернова земля, перегній) та верхній шар укорінення завтовшки 3–5 см із річкового піску та торфу.



Рис.2.3. Дерев'яний короб

Для підтримання високої вологості повітря над коробами монтували системи дрібнодисперсного зволоження, а конструкції накривали поліетиленом або притіняючими матеріалами.

2.2 Характеристика стимуляторів коренеутворення

Індолілмасляна кислота (ІМК) – синтетичний регулятор росту рослин із групи ауксинів, який широко застосовується для стимулювання утворення адвентивних коренів у живців різних деревних і трав'янистих рослин. За

хімічною природою ІМК є похідним індолу та належить до ароматичних карбонових кислот. Молекула сполуки складається з індольного кільця, з'єднаного з бутановим бічним ланцюгом, який містить карбоксильну групу. Саме наявність індольного ядра зумовлює подібність цієї сполуки до природного рослинного ауксину – індол-3-оцтової кислоти [225].

Хімічна формула індолілмасляної кислоти – $C_{12}H_{13}NO_2$, молекулярна маса становить $203,24 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$. Структурно вона являє собою індольне ядро, до третього положення якого приєднаний бутановий радикал із карбоксильною групою ($-COOH$). Така будова забезпечує високу біологічну активність речовини, зокрема здатність стимулювати поділ клітин, диференціацію тканин і формування адвентивних коренів у живців [226].

ІМК характеризується відносно високою стабільністю порівняно з природними ауксинами, що зумовлює її широке використання в практиці садівництва та вегетативного розмноження рослин. Завдяки цим властивостям препарат ефективно застосовується для стимулювання ризогенезу у хвойних та декоративних деревних рослин [227].

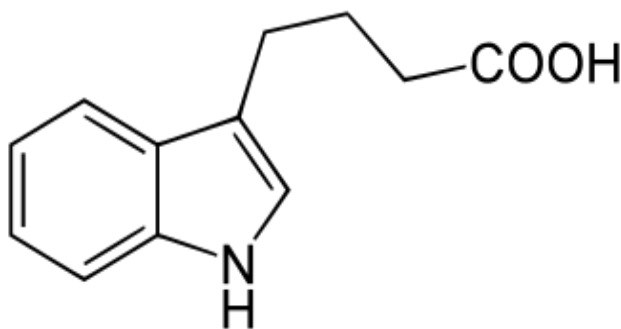


Рис. 2.2 Хімічна формула індолілмасляної кислоти [226]

Для приготування розчину індолілмасляної кислоти (ІМК) використовували аналітичні ваги, етиловий спирт та дистильовану воду. Оскільки ІМК є малорозчинною у воді, необхідну кількість препарату попередньо розчиняли у невеликому об'ємі етилового спирту (96 %), після чого доводили дистильованою водою до необхідного об'єму. Для отримання розчинів концентрацією 50, 100 та 150 мг/л відповідно відважували 50, 100 і 150 мг ІМК, які розчиняли у 15 мл етилового спирту, після чого об'єм розчину

доводили дистильованою водою до 1 л. Приготовлені розчини ретельно перемішували до повного розчинення речовини. Нижню частину живців занурювали у розчин НОК на 2–3 см та витримували протягом 6, 12 і 24 годин залежно від варіанта досліду.

Нафтилоцтова кислота (НОК) – синтетичний регулятор росту рослин із групи ауксинів, який широко застосовується для стимулювання процесів коренеутворення, росту та розвитку рослин. За хімічною структурою ця сполука є похідним нафталіну та належить до ароматичних карбонових кислот. Молекула нафтилоцтової кислоти складається з нафталінового ядра, що утворене двома конденсованими бензольними кільцями, до якого приєднаний оцтовокислий бічний ланцюг, що містить карбоксильну групу ($-\text{CH}_2-\text{COOH}$). Хімічна формула сполуки – $\text{C}_{12}\text{H}_{10}\text{O}_2$, молекулярна маса становить $186,21 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$. Така структура забезпечує подібність НОК до природних ауксинів рослин, зокрема ІМК. Завдяки наявності карбоксильної функціональної групи та ароматичного нафталінового ядра нафтилоцтова кислота проявляє високу фізіологічну активність і здатна впливати на процеси поділу клітин, диференціації тканин і формування адвентивних коренів у живців. У практиці садівництва ця сполука широко використовується як ефективний стимулятор ризогенезу при вегетативному розмноженні декоративних і лісових рослин [228, 173, 220].

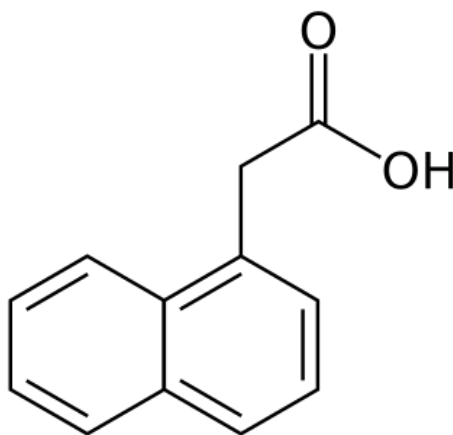


Рис. 2.3 Хімічна формула нафтилоцтової кислоти [228]

Розчин нафтилоцтової кислоти (НОК) готували за аналогічною методикою. Для приготування розчинів використовували аналітичні ваги та дистильовану воду. Оскільки НОК є малорозчинною у воді, необхідну кількість препарату попередньо розчиняли у 15 мл етилового спирту (96 %), після чого об'єм доводили дистильованою водою до 1 л. Для отримання розчинів концентрацією 50, 100 та 150 мг/л відповідно відважували 50, 100 і 150 мг препарату. Приготовлені розчини ретельно перемішували до повного розчинення речовини. Нижню частину живців занурювали у розчин НОК на 2–3 см та витримували протягом 6, 12 і 24 годин залежно від варіанта дослідів.

Препарат Rhizoron є комерційним укорінювальним засобом, що застосовується для стимулювання утворення адвентивних коренів у живців рослин. Основною діючою речовиною препарату є індолілмасляна кислота (ІМК), яка належить до групи ауксинів – регуляторів росту рослин. Окрім активної речовини, до складу препарату входять допоміжні компоненти, зокрема інертні мінеральні носії (тальк), які забезпечують рівномірний розподіл діючої речовини на поверхні живця. Також до складу входять стабілізатори та технологічні добавки, що підвищують стабільність препарату та полегшують його нанесення. Завдяки такій композиції препарат забезпечує ефективне прилипання порошку до поверхні зрізу живця та сприяє рівномірному надходженню діючої речовини до тканин рослини [212].

Обробку живців препаратом Rhizoron проводили безпосередньо перед висаджуванням у субстрат для укорінення. Нижню частину живців зволожували та занурювали у порошкоподібний препарат на глибину 2–3 см, після чого надлишок препарату струшували.

Препарат Clonex є гелевим стимулятором коренеутворення, який застосовується для обробки живців з метою стимулювання утворення адвентивних коренів. Основною діючою речовиною препарату є індолілмасляна кислота (ІМК). Окрім активної речовини, до складу препарату входить гелева полімерна основа, яка забезпечує рівномірне покриття поверхні зрізу живця та тривале утримання діючої речовини. Також препарат містить

допоміжні компоненти, зокрема мінеральні поживні елементи, вітаміни та стабілізатори, що сприяють підтриманню фізіологічної активності тканин у зоні укорінення. Така структура препарату забезпечує оптимальні умови для стимулювання процесів ризогенезу та підвищує ефективність укорінення живців рослин [199, 213].

Обробку живців проводили безпосередньо перед висаджуванням у субстрат для укорінення. Нижню частину живців занурювали у гель на глибину 2–3 см на 3–5 секунд таким чином, щоб препарат рівномірно покривав базальну частину живця. Після обробки живці одразу висаджували у підготовлений субстрат.

Вибір препаратів Clonex, Rhizopon, ІМК та НОК для проведення досліджень був зумовлений як їх широким практичним використанням у декоративному розсадництві, так і наявністю наукових даних щодо ефективності цих речовин у стимулюванні адвентивного коренеутворення у деревних рослин.

Індоліл-3-масляна кислота (ІМК) та нафтилоцтова кислота (НОК) є одними з найбільш поширених і традиційних синтетичних ауксинів, які широко застосовуються у практиці вегетативного розмноження рослин. Саме тому їх було використано як базові регулятори росту для оцінки впливу концентрації та тривалості експозиції на процес ризогенезу живців ялини колючої форми блакитної.

Препарати Clonex та Rhizopon були включені до схеми досліду з огляду на їх широке застосування у виробничих умовах декоративних розсадників та позитивні результати, отримані при укоріненні інших декоративних і хвойних рослин.

Таким чином, включення до досліду як класичних водних розчинів ауксинів (ІМК, НОК), так і сучасних комерційних препаративних форм (Clonex, Rhizopon) дозволило провести порівняльну оцінку їх ефективності та визначити найбільш перспективні технологічні рішення для вегетативного розмноження ялини колючої форми блакитної в умовах Правобережного Лісостепу України.

2.3 Схеми проведення дослідження

Схеми досліду були сформовані з метою всебічної оцінки впливу різних типів стимуляторів коренеутворення, їх концентрацій та тривалості обробки на показники укорінення стеблових живців ялини колючої форми блакитної в умовах закритого ґрунту. Дослідження проводили протягом трьох років – у 2023–2025 рр., що дало можливість отримати статистично обґрунтовані результати.

У кожному варіанті досліду використовували по 30 живців у чотирьох повторностях. Таким чином, на один варіант припадало 120 живців, що забезпечувало достатню вибірку для проведення подальшої математично-статистичної обробки результатів. Розміщення варіантів у межах теплиці здійснювали блоковим способом. Кожна повторність розглядалася як окремий блок, у межах якого варіанти розташовували в однаковій послідовності. Контрольним варіантом у кожному досліді слугували живці, які висаджували у субстрат без обробки стимуляторами.

Схеми дослідів:

Дослід 1. Живці ялини колючої ф. блакитна (*Picea pungens* f. *glauca*) обробляли індолілмасляною кислотою (ІМК) з концентраціями 50, 100, 150 мг/л водного розчину, та контроль. Для кожної концентрації застосовували три режими замочування – 6, 12 та 24 години.

Перший дослід був спрямований на вивчення впливу індолілмасляної кислоти (ІМК) при тривалому замочуванні живців. Варіювали два фактори – концентрація розчину та тривалість замочування. Таким чином, дослід включав один контрольний варіант та дев'ять дослідних комбінацій (3 концентрації × 3 тривалості), загалом 10 варіантів.

Дослід 2. Живці ялини колючої ф. блакитна обробляли нафтилоцтовою кислотою (НОК) з концентраціями 50, 100, 150 мг/л водного розчину та контроль. Для кожної концентрації застосовували три режими замочування – 6, 12 та 24 години.

Другий дослід за структурою повністю відповідав першому, однак замість ІМК застосовували нафтилоцтову кислоту (НОК). Загальна кількість варіантів також становила 10 (1 контроль та 9 дослідних).

Дослід 3. Передбачав короточасну обробку живців (3–5 секунд) препаратами з високою концентрацією діючої речовини. Порівнювали ефективність порошкоподібних форм препарату Rhizoron 0,25 %, Rhizoron 0,5 % та Rhizoron 1 % із водними розчинами НОК високої концентрації –1000, 3000 та 5000 мг/л. Разом із контролем дослід включав 7 варіантів. У цьому випадку варіювала форма препарату та концентрація діючої речовини при мінімальній тривалості експозиції.

Слід зазначити, що основною діючою речовиною препарату Rhizoron є ІМК, яка входить до його складу у відповідній концентрації разом із допоміжними компонентами, що забезпечують стабільність препаративної форми [229].

Дослід 4. Був спрямований на оцінку ефективності гелевих препаратів та концентрованих розчинів ІМК при короточасному зануренні (3–5 секунд). Використовували препарати Clonex Green, Clonex Purple та Clonex Red, а також водні розчини ІМК з концентраціями 1000, 3000 та 5000 мг/л. Разом із контролем дослід налічував 7 варіантів. У даному випадку досліджували форму препарату (гелева і водний розчин) та концентрацію синтетичного ауксину.

Слід зазначити, що гелеві препарати серії Clonex містять індолилмасляну кислоту у фіксованих концентраціях: Clonex Green 1500 мг/л, Clonex Purple 3000 мг/л, Clonex Red 8000 мг/л. Гелева основа забезпечує щільний контакт діючої речовини з поверхнею зрізу живця, рівномірність нанесення та певний пролонгований ефект вивільнення ауксину [230, 181].

Після завершення періоду укорінення проводили комплексну оцінку результатів. Підраховували кількість укорінених живців та визначали їх відсоток відносно загальної кількості закладених живців. Далі підраховували кількість адвентивних коренів на кожному укоріненому живці, вимірювали загальну довжину кореневої системи за допомогою лінійки з точністю до 1 мм,

а також фіксували приріст надземної частини. Усі показники обліковували в кожній повторності окремо з подальшим розрахунком середніх значень.

Облік результатів укорінення стеблових живців ялини колючої форми блакитної проводили систематично та за єдиною методикою для всіх варіантів досліду, що забезпечувало коректність порівняння отриманих показників. Оцінювання здійснювали після завершення періоду укорінення.

Облік показників укорінення та морфологічних параметрів проводили через 120 діб після висаджування живців у субстрат. Для цього у кожній повторності підраховували кількість живців, у яких відбулося формування адвентивних коренів. Живець вважали укоріненим за наявності хоча б одного добре сформованого кореня довжиною не менше 0,5 см. Отримані дані переводили у відсотки від загальної кількості висаджених живців у відповідному варіанті. Саме цей показник слугував основним критерієм оцінки ефективності застосованих стимуляторів і давав змогу об'єктивно порівнювати вплив різних концентрацій та способів обробки.

Другим важливим показником була кількість коренів на один укорінений живець. Після обережного вилучення рослин із субстрату кожен живець промивали від залишків субстрату проточною водою, намагаючись не пошкодити тонкі корінці. Підрахунок проводили вручну, фіксуючи кількість коренів першого та другого порядку. Середній показник розраховували окремо для кожної повторності, після чого визначали середнє арифметичне по варіанту.

Довжину коренів визначали шляхом вимірювання кожного сформованого кореня за допомогою лінійки з точністю до 1 мм. Далі розраховували сумарну довжину кореневої системи одного живця як показник розвитку. У випадках, коли корені мали викривлену форму, їх обережно розпрямляли без натягу, щоб уникнути похибки вимірювання. Отримані дані дозволяли оцінити не лише факт укорінення, а й інтенсивність ростових процесів у прикореневій зоні.

Крім показників розвитку кореневої системи, визначали довжину приросту надземної частини. Вимірювання проводили після завершення періоду укорінення, фіксуючи відстань від верхівкової бруньки або точки росту. Вимірювання здійснювали лінійкою з точністю до 1 мм. Отримані дані дозволяли оцінити вплив досліджуваних стимуляторів не лише на формування коренів, а й на активність ростових процесів у надземній частині рослин, що є важливим показником життєздатності та загального фізіологічного стану укорінених живців.

Для оцінки впливу факторів «концентрація стимулятора» та «тривалість експозиції» на показники укорінення застосовували дисперсійний аналіз. У дослідах, де варіювали два фактори одночасно (концентрація та тривалість замочування), використовували двофакторний дисперсійний аналіз із визначенням головних факторів, так і їхньої взаємодії. Це дозволило встановити, чим зумовлені зміни показників окремою дією кожного фактора, чи їх комбінованим впливом.

У дослідах із одним фактором (порівняння гелевих препаратів або різних концентрацій при короткочасному зануренні) застосовували однофакторний дисперсійний аналіз.

Достовірність різниць між середніми значеннями оцінювали при рівні значущості $p \leq 0,05$. Для наочності в таблицях поряд із середніми значеннями наводили величину найменшої істотної різниці ($HP_{0.05}$), що дозволяло оцінити мінімальний інтервал, за якого різниця між варіантами вважається статистично значущою.

Статистичну обробку результатів здійснювали з використанням програмного забезпечення Microsoft Excel (модуль «Аналіз даних») та пакету Statistica 10.0. Первинне впорядкування даних, розрахунок середніх значень і побудову графіків виконували в Microsoft Excel, тоді як дисперсійний та кореляційний аналіз – у середовищі Statistica, що забезпечує більш розширені можливості багатфакторного аналізу.

Для розроблення проєктних рішень озеленення території використовували програмне забезпечення Realtime Landscaping Architect 2018, яке застосовували для створення планувальної структури ділянки, моделювання розміщення рослинних композицій та візуалізації проєкту.

Таким чином, застосування комплексу методів варіаційної статистики, дисперсійного аналізу та перевірки достовірності різниць дозволило об'єктивно оцінити вплив концентрації, способу та тривалості обробки стимуляторами на процес адвентивного ризогенезу й подальший ріст живців ялини колючої форма блакитна, що забезпечувало об'єктивність оцінювання результатів.

Висновки до розділу 2

1. Встановлено, що ґрунтово-кліматичні умови Правобережного Лісостепу України є сприятливими для вирощування та вегетативного розмноження ялини колючої форми блакитної. Чорноземи типові та опідзолені з нейтральною або слабокислою реакцією ґрунтового розчину забезпечують оптимальні едафічні передумови для культивування декоративних хвойних рослин.

2. Умови стаціонарної полікарбонатної теплиці дозволили підтримувати регульований температурний режим і режим вологості повітря, що створювало стабільне середовище для індукції адвентивного ризогенезу. Оптимізація мікроклімату (температура повітря 20–32 °С, субстрату 26–28 °С, відносна вологість 80–90 % на початковому етапі) забезпечувала мінімізацію транспіраційних втрат і сприяла активізації калюсоутворення.

3. Об'єкт дослідження – стеблові живці ялини колючої форми блакитної віком 5–8 років – характеризувався однорідними біометричними параметрами, що дозволило мінімізувати варіацію, не пов'язану з дією експериментальних факторів.

4. Субстрат на основі суміші річкового піску та верхового торфу (1:1) з рН 5,5–6,0 забезпечував оптимальне співвідношення повітро- та водопроникності, що створювало сприятливі умови для формування корневих примордіїв.

5. Розроблена схема дослідів дозволила комплексно оцінити вплив концентрації ауксину, тривалості експозиції та форми препарату на процес укорінення. Двофакторний дисперсійний аналіз забезпечив можливість встановлення як головних ефектів факторів, так і їхньої взаємодії.

6. Застосування варіаційної статистики, одно- та двофакторного дисперсійного аналізу при рівні значущості $p \leq 0,05$ забезпечило наукову обґрунтованість оцінки ефективності стимуляторів ризогенезу та достовірність отриманих експериментальних результатів.

РОЗДІЛ 3

ВПЛИВ СТИМУЛЯТОРІВ НА ВИХІД ТА БІОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ ЖИВЦІВ

3.1 Вплив стимуляторів укорінення на вихід укорінених живців ялини колючої форми блакитної

Упродовж 2023–2025 років було проведено експериментальні дослідження з вивчення впливу індоліл-3-масляної кислоти на процес укорінення стеблових живців ялини колючої форми блакитної. У результаті узагальнення даних наведених у табл. 3.1 встановлено чітку залежність інтенсивності проходження ризогенезу від досліджуваних факторів.

За мінімальної концентрації ІМК (50 мг/л) відзначено поступове підвищення показників укорінення зі збільшенням тривалості замочування. Так, за 6-годинного замочування в середньому за три роки укорінилося 2,7 живця що становить 8,9 % від загальної кількості, за 12-годинного – 4,3 живця або 14,4 %, а за 24-годинного – 5,3 живця або 17,8 %.

За цієї концентрації пролонгація дії препарату мала позитивний вплив, однак загальний рівень укорінення залишався відносно невисоким, що свідчить про обмежену стимулюючу ефективність даної концентрації для живців ялини колючої форми блакитної.

Збільшення концентрації до 100 мг/л забезпечило більш виражений стимулюючий ефект. За 6-годинного замочування середній показник укорінення становив 5,7 живця (18,9%), за 12-годинного – 7,7 живця (25,6%), тоді як за 24-годинного замочування – 6,33 живця (21,1%). Найвищий результат було отримано за 12-годинної експозиції, що свідчить про досягнення оптимального співвідношення між концентрацією ауксину та тривалістю його дії. Подовження обробки до 24 годин не призвело до подальшого зростання укорінення, а навпаки, зумовило певне зниження показників, що може бути пов'язано з початковими проявами інгібуючого впливу надмірної експозиції.

Таблиця 3.1

**Вихід укорінених живців ялини колючої форма блакитна за різної
концентрації ІМК та тривалості замочування, шт.**

Індоліл 3-масляна кислота, мг/л (фактор А)	Тривалість замочування, годин (фактор В)	Рік досліджень			Середнє за 2023–2025 рр.
		2023	2024	2025	
Контроль (вода)	-	1	1	2	1,3
50	6	3	3	2	2,7
	12	4	5	4	4,3
	24	5	6	5	5,3
100	6	6	5	6	5,7
	12	8	7	8	7,7
	24	6	6	7	6,3
150	6	9	9	9	9
	12	6	7	6	6,3
	24	1	2	2	1,7
НІР ₀₅ фактора А		0,80	0,74	0,88	
НІР ₀₅ фактора В		0,69	0,64	0,76	
НІР ₀₅ фактора АВ		1,38	1,29	1,53	

Найбільш контрастні результати отримано за концентрації 150 мг/л. За 6-годинного замочування середній показник укорінення досягав 9 з 30 живців (28,9 %), що є максимальним значенням серед усіх досліджених варіантів. За 12-годинної експозиції цей показник знижувався до 6,3 живця (21,1%), а за 24-годинної експозиції кількість укорінених живців різко знижувалася до 1,7 живця (5,6%). Таким чином, за високої концентрації чітко проявляється дозо-часова взаємодія: короточасна дія стимулятора забезпечує інтенсивну ініціацію адвентивних коренів, тоді як тривале замочування спричиняє пригнічення процесів ризогенезу. Фактично 24-годинна експозиція за концентрації 150 мг/л виявилася менш ефективною навіть порівняно з деякими

варіантами нижчих концентрацій, що вказує на можливу токсичну або стресову дію надлишку регулятора росту.

У контрольному варіанті без застосування стимулятора середній показник укорінення становив 1,33 живця (4,4%). Порівняння з варіантами досліду із застосуванням стимулятора демонструє суттєве підвищення регенераційної здатності живців під впливом ІМК. Зокрема, оптимальний варіант (150 мг/л, 6 годин) перевищував контроль більш ніж у шість разів. Навіть середні концентрації забезпечували істотне зростання показників порівняно з природним рівнем укорінення.

На рис. 3.1 відображено відсоток укорінених живців ялини колючої форми блакитної залежно від концентрації ІМК та тривалості замочування.

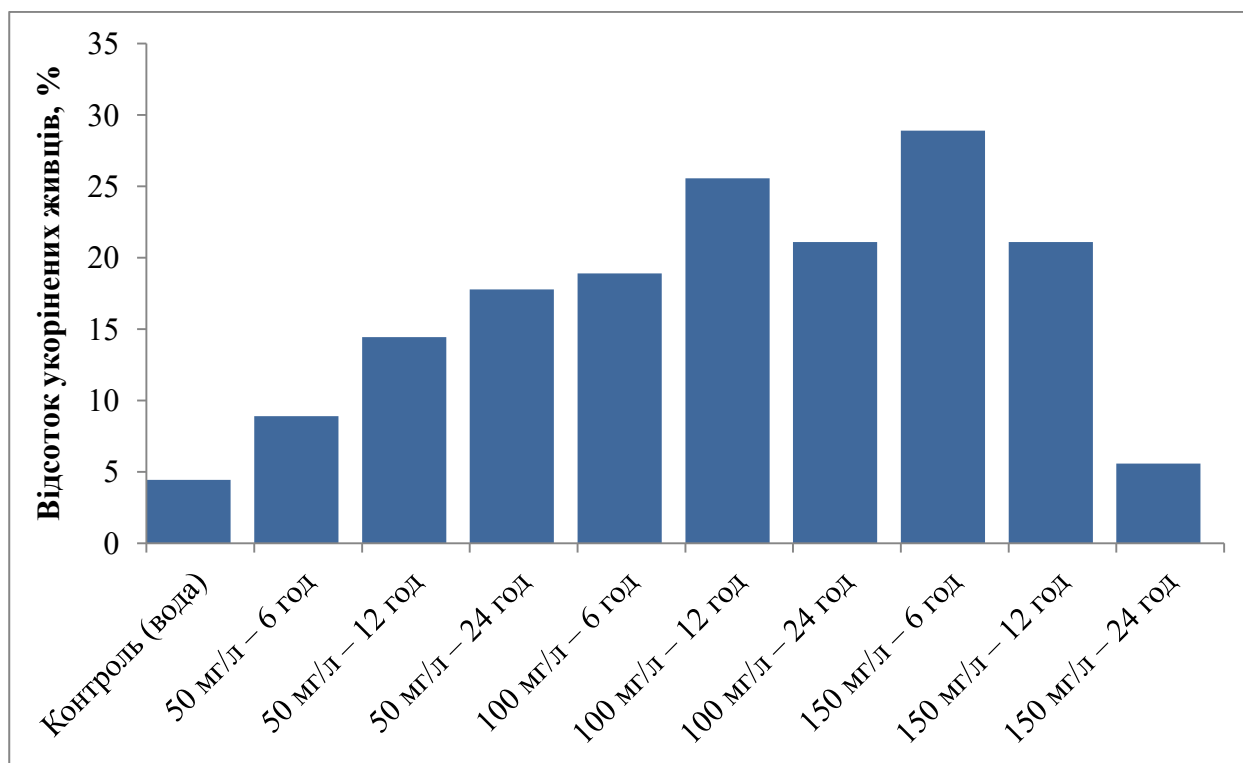


Рис. 3.1 Вихід укорінених живців ялини колючої в залежності від концентрації ІМК та тривалості замочування (середнє за 2023–2025 рр.).

Графічна інтерпретація результатів наочно підтверджує закономірності, встановлені під час статистичної обробки експериментальних даних, і дозволяє простежити характер впливу кожного варіанта обробки на інтенсивність ризогенезу.

У варіантах в яких проводили оброблення розчином ІМК за концентрації 50 мг/л та 6-годинного замочування, а також за концентрації 150 мг/л та 24-годинного замочування перевага над контролем протягом 2023–2025 років була неістотною. Всі інші варіанти дослідження протягом трирічного дослідження показали істотну перевагу над контролем.

Сила впливу фактора «концентрація» протягом трирічного періоду становила 52 %, що свідчить про його значну роль у формуванні показника виходу вкорінених живців. Вплив фактора «тривалість замочування» був незначним і перебував у межах 3–5 %. Водночас взаємодія факторів «концентрація і тривалість замочування» характеризувалася помірною силою впливу 31–36 %, що вказує на наявність комбінованого ефекту досліджуваних факторів.

Підвищення концентрації з 50 до 100 і 150 мг/л супроводжується зростанням відсотка укорінення за оптимальної тривалості замочування, проте надмірна експозиція, особливо за високої концентрації, різко знижує ефективність. Графічне представлення результатів підсилює висновок про те, що найбільш раціональним режимом обробки живців є застосування концентрації 150 мг/л протягом 6 годин, оскільки саме цей варіант забезпечує максимальний рівень укорінення в умовах проведеного експерименту.

Результати дисперсійного аналізу свідчать про статистично достовірний вплив досліджуваних факторів на показники ризогенезу живців (додаток Б).

Протягом 2023–2025 було проведено дослідження, спрямоване на встановлення впливу різних концентрацій нафтилоцтової кислоти (НОК) та тривалості замочування на вихід вкорінених живців ялини колючої форми блакитної. Показники наведено в табл. 3.2.

Аналіз отриманих результатів свідчить про чітко виражену залежність інтенсивності ризогенезу від концентрації регулятора росту та тривалості обробки. У контрольному варіанті, де живці висаджувалися без попереднього замочування у розчині НОК, середній вихід укорінених живців за три роки становив 1,7 шт. із загальної кількості живців, що становить 5,6 %. Цей

показник характеризує природний рівень регенераційної здатності живців без застосування екзогенних ауксинів.

Таблиця 3.2

Вихід вкорінених живців ялини колючої форма блакитна, за різної концентрації НОК та тривалості замочування живців

А	В	Рік досліджень			Середнє за 2023–2025pp
Нафтилоцтова кислота	Тривалість замочування, год	2023	2024	2025	
Контроль (вода)	-	2	1	2	1,7
50	6	2	2	3	2,3
	12	3	4	3	3,3
	24	4	4	5	4,3
100	6	5	5	4	4,7
	12	6	5	5	5,3
	24	5	6	6	5,7
150	6	8	7	7	7,3
	12	5	5	6	5,3
	24	1	1	2	1,3
НІР ₀₅ фактора А		0,58	0,54	0,58	
НІР ₀₅ фактора В		0,50	0,47	0,50	
НІР ₀₅ фактора АВ		1,01	0,93	1,01	

За концентрації 50 мг/л простежується поступове зростання виходу вкорінених живців із подовженням тривалості замочування. При замочуванні на 6 годин середній показник укорінення становив 2,3 живця або 7,7 %, за 12-годинного замочування укорінилося 3,3 живця або 11,1 %, а за 24-годинного замочування укорінилося 4,3 живця або 14,4 %. Таким чином, за мінімальної концентрації НОК пролонгація контакту тканин живця з розчином стимулятора

сприяла підвищенню відсотка укорінення. Однак навіть максимальний показник у межах цієї концентрації не перевищував 15 %, що свідчить про відносно слабкий стимулюючий ефект низької дози препарату. Перевага над контрольним варіантом при застосуванні НОК за 6-годинного замочування в 2025 році, та за 12-годинного замочування в 2023 та 2025 роках була не істотною, всі інші варіанти дослідження за даної концентрації відзначаються істотною перевагою порівняно з контрольним варіантом. Найкращі результати в межах концентрації 50 мг/л отримано за тривалості замочування 24 години, дані істотно перевищують як контрольний варіант, так і інші варіанти з меншою тривалістю обробки. Це свідчить про позитивний вплив пролонгованої експозиції живців у розчині НОК за низької концентрації на процеси ризогенезу.

Збільшення концентрації до 100 мг/л зумовило підвищення виходу укорінених живців. За 6-годинного замочування середній показник становив 4,7 живця 15,5 %, за 12-годинного – 5,3 живця 17,7 %, а за 24-годинного 5,7 живця, що становить 18,9 %. У цій групі варіантів різниця між 12- та 24-годинною експозицією була незначною, що свідчить про досягнення близького до оптимального рівня насичення тканин ауксином. Отримані дані вказують на більш стабільну реакцію живців на середню концентрацію НОК, без різкого пригнічення навіть за подовженої обробки. Усі варіанти дослідження за концентрації 100 мг/л протягом трирічного періоду характеризувалися істотною перевагою укорінення порівняно з контрольним варіантом, що підтверджено результатами дисперсійного аналізу. Найвищий вихід укорінених живців зафіксовано за тривалості замочування 24 години, отримані значення істотно перевищували не лише контроль, але й варіанти з коротшою експозицією. На відміну від концентрації 50 мг/л, у даному випадку підвищення ефективності укорінення було більш вираженим, що свідчить про позитивний вплив вищої концентрації ауксину.

Найбільш контрастні результати отримано за концентрації 150 мг/л. При 6-годинному замочуванні середній вихід укорінених живців становив 7,3 шт.,

що становить 24,4 %. Це найвищий показник серед усіх досліджених варіантів і свідчить про виражений стимулюючий ефект короточасної дії високої концентрації НОК. Однак подовження експозиції до 12 годин призвело до зменшення середнього показника – 5,3 живця 17,7 %, а за 24-годинному замочування спостерігалось різке зниження виходу укорінених живців до 1,3 живця або 4,4 %. Останній показник практично відповідає рівню контролю, що вказує на фітотоксичний вплив надмірної тривалості дії даної концентрації препарату. Тривала експозиція 150 мг/л спричиняє порушення гормонального балансу, розвиток стресових реакцій та пригнічення процесів ініціації адвентивних коренів. Всі варіанти дослідження які переважали контрольний варіант, мали над ним істотну перевагу протягом трирічного періоду, що підтверджено даними НІР₀₅.

Сила впливу фактора «концентрація» у 2023 та 2025 роках становила відповідно 39 % і 44 %, що вказує на помірний рівень його впливу на вихід вкорінених живців. У 2024 році цей показник зріс до 53 %, що свідчить про значний вплив даного фактора. Вплив фактора «тривалість замочування» протягом трирічного періоду був незначним і перебував у межах 1–7 %. Водночас взаємодія факторів «концентрація і тривалість замочування» характеризувалася помірною силою впливу (37–46 %), що вказує на наявність їх комбінованої дії на досліджуваний показник (додаток В).

Варіанти дослідження дають змогу зробити певні висновки. Підвищення концентрації НОК від 50 до 100 і 150 мг/л супроводжується зростанням виходу вкорінених живців за умови оптимальної тривалості замочування. Максимальний середній вихід укорінених живців (24,4 %) забезпечувало замочування у розчині НОК концентрацією 150 мг/л протягом 6 годин, що забезпечує найбільший вихід стандартного укоріненого матеріалу.

Динаміку змін виходу укорінених живців залежно від концентрації НОК та тривалості замочування наочно ілюструє рис. 3.2.

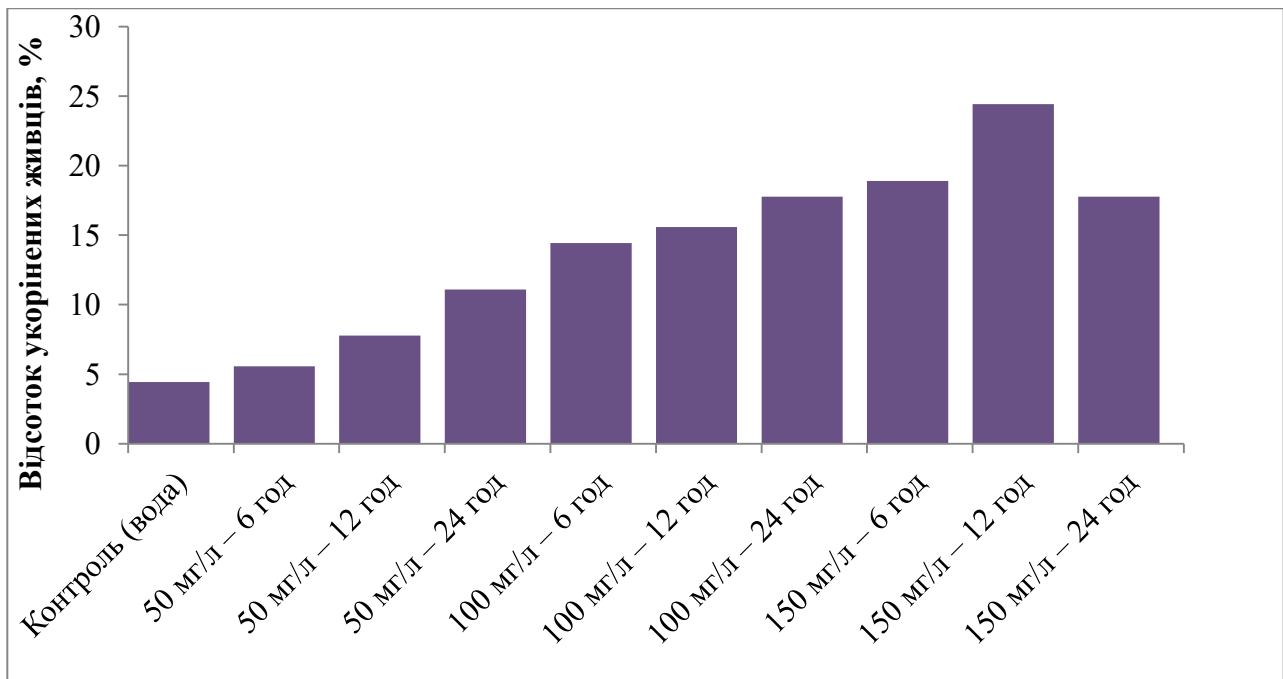


Рис. 3.2. Вихід укорінених живців ялини колючої, в залежності від концентрації НОК та тривалості замочування (середнє за 2023–2025 рр).

Таким чином, дані таблиці демонструють складну взаємодію концентрації розчину та часу замочування стеблових живців у процесі адвентивного коренеутворення. Отримані результати мають практичне значення для удосконалення технології вегетативного розмноження та можуть бути використані при розробленні регламентів застосування синтетичних ауксинів у розсадницькій практиці.

Упродовж 2023–2025 років проведено дослідження з визначення результативності застосування ауксиновмісних стимуляторів росту (Rhizopon і НОК) для укорінення стеблових живців ялини колючої форми блакитної.

У контрольному варіанті, де живці висаджували без попередньої обробки стимуляторами, протягом трирічного періоду спостерігалася слабо виражена здатність до формування адвентивних коренів. Як наведено в табл. 3.3, кількість укорінених живців коливалася в межах 1–2 шт., а середнє значення становило 1,7 живця або 5,5 % від загальної кількості. Отримані результати свідчать про низький природний потенціал укорінення живців ялини колючої форма блакитна без застосування регуляторів росту. Цей показник використано

як базовий для подальшого порівняння ефективності досліджуваних препаратів, що підтверджує обґрунтованість використання ауксинів у технології вегетативного розмноження.

На рис. 3.3 відображено залежність адвентивного коренеутворення від типу застосованого регулятора росту та його концентрації. Простежується, що варіанти обробки істотно відрізнялися за результативністю, що свідчить про різну фізіологічну активність препаратів.

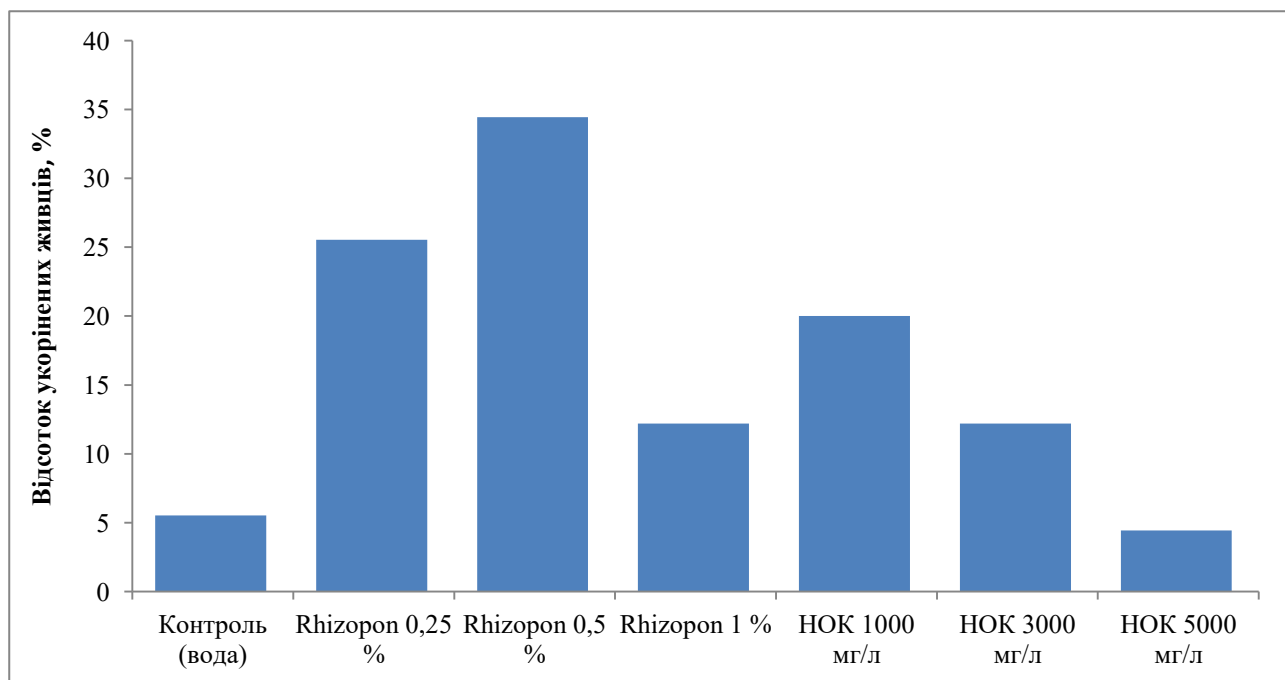


Рис. 3.3. Порівняльна ефективність препарату Rhizopon і концентрацій НОК щодо укорінення живців ялини колючої форми блакитної (середнє за 2023–2025 рр.)

Використання препарату Rhizopon 0,25 % характеризувалося відносно стабільними, хоча й не максимальними показниками укорінення. Згідно з даними табл. 3, у 2023 та 2024 роках укорінилося по 8 живців, тоді як у 2025 році – 7 живців. У середньому за три роки це становило 7,7 живців, або 25,5 % від загальної кількості живців. Отримані результати підтверджують виражений стимулюючий ефект препарату щодо формування адвентивної кореневої системи. Істотна перевага показників над контролем супроводжувалася протягом трирічного періоду, враховуючи показники HP_{05} . Водночас його

ефективність поступалася препарату Rhizopon 0,5 %, проте суттєво перевищувала показники контрольного варіанта, а також більшість варіантів оброблення із застосуванням нафтилоцтової кислоти.

Таблиця 3.3

Вихід укорінених живців ялини колючої форми блакитної залежно від препарату Rhizopon та концентрації НОК (2023–2025 рр.)

Стимулятор росту, концентрація мг/л	Вкорінені живці, шт.			Середня кількість вкорінених живців за 2023–2025 рр., шт.
	2023	2024	2025	
Контроль (вода)	2	2	1	1,7
Rhizopon 0,25 % 2500 мг/л	8	8	7	7,7
Rhizopon 0,5 % 5000 мг/л	11	10	10	10,3
Rhizopon 1 % 10000 мг/л	4	4	3	3,7
НОК 1000 мг/л	6	5	7	6
НОК 3000 мг/л	4	3	4	3,7
НОК 5000 мг/л	1	2	1	1,3
НІР ₀₅	1,28	1,4	1,29	

Найвищі показники укорінення було відзначено у варіанті із застосуванням препарату Rhizopon 0,5 %. У 2023 році укорінилося 11 живців, у 2024 та 2025 роках – по 10 живців, а середній показник за трирічний період становив 10,3 живця, що становить 34,4 %. Перевага даного варіанта чітко відображена на рис. 3.3, де він демонструє найвищі значення серед досліджених схем обробки. Істотна перевага показників над контролем простежувалася протягом трирічного періоду, враховуючи показники НІР₀₅. Отримані дані свідчать про стабільний і виражений стимулюючий ефект препарату, що дає змогу розглядати його як найбільш результативний засіб для короточасної обробки живців ялини колючої. У порівнянні з контрольним варіантом

застосування Rhizopon 0,5 % підвищувало рівень укорінення більш ніж у шість разів, що підтверджує його високу фізіологічну та біологічну активність.

Обробка живців препаратом Rhizopon 1 % характеризувалася суттєвим зниженням показників укорінення. Відповідно до даних табл. 3.3, у 2023 та 2024 роках укорінилося по 4 живці, тоді як у 2025 році – лише 3. Середнє значення за 2023–2025 роки становило 3,7 живця, або 12,2 %. Такі результати свідчать про те, що підвищення концентрації препарату призводить до зменшення ефективності ризогенезу та може чинити пригнічувальний вплив на регенераційні процеси в тканинах живців. Проте не зважаючи на зниження показників вкорінення істотна перевага над контрольним варіантом зберігалася, враховуючи показники $НІР_{05}$.

Подібна тенденція до зниження виходу укорінених живців зі зростанням концентрації діючої речовини простежувалася і при використанні НОК. Найвищу результативність серед варіантів із НОК забезпечувала концентрація 1000 мг/л, за якої середній показник за 2023–2025 роки становив 6 укорінених живців, або 20 %.

Збільшення концентрації до 3000 мг/л супроводжувалося зменшенням середньої кількості укорінених живців до 3,7 або 12,2 %, а за концентрації 5000 мг/л цей показник знижувався до 1,3 живця або 4,4 %. Це значення виявилось навіть нижчим за контрольний варіант, що свідчить про виражений фітотоксичний ефект високих концентрацій НОК та їх пригнічувальний вплив на процес формування адвентивної кореневої системи. Істотна перевага над контрольним варіантом протягом 2023 – 2025 років простежувалася при застосуванні НОК за концентрації 1000 мг/л, за застосуванні концентрації 3000 мг/л, істотну перевагу над контролем зафіксовано лише 2023 та 2025 році, в 2024 році за показниками $НІР_{05}$ перевага над контролем була не достовірною.

Сила впливу досліджуваного фактора «стимулятора росту» протягом трирічного періоду становила 93 – 95 %, що підтверджує значний вплив даного фактора на кількість укорінених живців (додаток Г).

Узагальнюючи результати, наведені на рис. 3.3 та в табл. 3.3, можна констатувати, що рівень укорінення живців ялини колючої форми блакитної істотно залежить як від типу застосованого стимулятора, так і від його концентрації. Найвищу ефективність серед досліджених варіантів короткочасної обробки забезпечив препарат Rhizopon 0,5 %.

Водночас як для Rhizopon, так і для нафтилоцтової кислоти перевищення оптимального рівня концентрації супроводжувалося зменшенням відсотка коренеутворення. Отримані результати підкреслюють важливість науково обґрунтованого вибору дозування концентрації стимуляторів при вегетативному розмноженні ялини колючої форми блакитної з метою досягнення максимальної ефективності ризогенезу.

Упродовж 2023 – 2025 років було проведено дослідження, спрямоване на з'ясування впливу різних форм і концентрацій ауксиновмістних препаратів на процес укорінення живців ялини колючої форми блакитної. Обробку проводили методом короткочасного занурення основи живця у стимулюючий розчин ІМК або гелеву форму препарату Clonex протягом 3–5 секунд із подальшим висаджуванням у субстрат. Узагальнені кількісні показники вкорінення живців за роками досліджень наведено в табл. 3.4, а графічну інтерпретацію отриманих результатів у відсотках подано на рис. 3.5.

У перший рік досліджень (2023) за використання препаратів лінійки Clonex Green, Clonex Purple та Clonex Red укорінилося відповідно 9 живців (30,0 %), 12 живців (40,0 %) і 6 живців (20,0 %). Уже на цьому етапі помітно, що варіант із Clonex Purple характеризується найвищою стимулюючою активністю. Паралельно оцінювали дію розчинів ІМК у концентраціях 1000 мг/л, 3000 мг/л і 5000 мг/л. Відповідні показники становили 9 живців (30,0 %), 8 живців (26,7 %) та 3 живці (10,0 %). Контроль забезпечив лише 1 укорінений живець (3,3 %), що підтвердило низький рівень природної регенераційної здатності живців без екзогенного гормонального впливу (додаток Д).

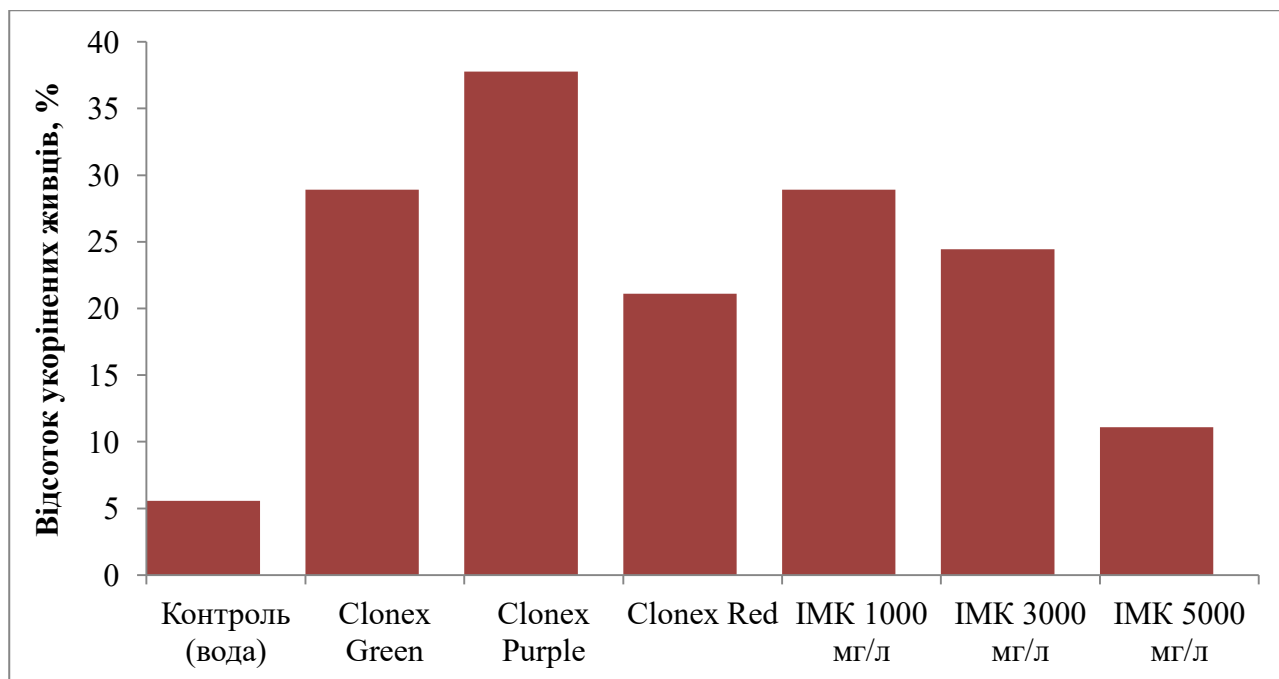


Рис. 3.4. Порівняльна ефективність препарату Clonex і концентрацій ІМК щодо укорієння живцїв ялини колючої форми блакитної (середнє за 2023–2025 рр.)

У 2024 році загальна закономірність збереглася, що свідчить про стабільність реакції досліджуваного матеріалу. Clonex Green забезпечив укорієння 10 живцїв (33,3 %), Clonex Purple – 11 живцїв (36,7 %), Clonex Red – 7 живцїв (23,3 %). У варіантах із ІМК 1000 мг/л укорієлося 9 живцїв (30,0 %), із 3000 мг/л – 7 живцїв (23,3 %), із 5000 мг/л – 3 живці (10,0 %). Контрольний варіант дав 2 укорієні живці (6,7 %). Незважаючи на незначні коливання показників у межах 3–4 %, ранжування варіантів за ефективністю залишилося незмінним: найвищі значення демонстрували препарати із середнім рівнем вмісту ІМК, тоді як підвищена концентрація 5000 мг/л знову виявилася найменш результативною серед дослідних варіантів.

У 2025 році результати підтвердили попередні спостереження. Укорієння за застосування Clonex Green становило 9 живцїв (30,0 %), Clonex Purple – 11 живцїв (36,7 %), Clonex Red – 6 живцїв (20,0 %). У варіантах із ІМК 1000 мг/л укорієлося 8 живцїв (26,7 %), із 3000 мг/л – 7 живцїв (23,3 %), із 5000 мг/л – 4 живці (13,3 %). Контроль забезпечив 2 живці (6,7 %).

Узагальнення середніх значень за три роки дало можливість більш об'єктивно оцінити ефективність кожного варіанта. Найвищий показник

укорінення забезпечив Clonex Purple – у середньому 11,3 живця із загальної кількості, що становить 37,8 %. Clonex Green та ІМК 1000 мг/л мали однаковий середній результат – по 8,7 живця (28,9 %), що свідчить про близьку ефективність цих варіантів. Clonex Red забезпечив 6,3 живця (21,1 %), ІМК 3000 мг/л – 7,3 живця (24,4 %), тоді як ІМК 5000 мг/л – лише 3,3 живця (11,1 %). Контрольний варіант у середньому становив 1,7 живця (5,6 %), що більш ніж у шість разів поступається найефективнішому дослідному варіанту, даний момент наочно простежується в табл. 4. Перевага над контролем (обробка водою) при застосуванні ІМК концентрацією 5000 мг/л в 2024 році була не достовірною, всі інші варіанти дослідження протягом 2023–2025 років показали достовірну перевагу порівняно з показниками зафіксованими в контрольному варіанті, враховуючи дані НІР₀₅.

Сила впливу досліджуваного фактора «стимулятора росту» протягом трирічного періоду становила 96 – 98 %, що підтверджує значний вплив даного фактора на кількість укорінених живців.

Таблиця 3.4

Вихід укорінених живців ялини колючої форми блакитної залежно від препарату Clonex та концентрації ІМК (2023–2025 рр.)

Стимулятор росту, концентрація мг/л	Кількість живців у варіанті, шт.	Вкорінені живці, шт.			Середня кількість вкорінених живців за 2023–2025 рр., шт.
		2023	2024	2025	
1	2	3	4	5	6
Контроль (вода)	30	1	2	2	1,7
Clonex Green 1500	30	9	8	9	8,7
Clonex Purple 3000	30	12	11	11	11,3
Clonex Red 8000	30	6	7	6	6,3

1	2	3	4	5	6
ІМК 1000	30	9	9	8	8,7
ІМК 3000	30	8	7	7	7,3
ІМК 5000	30	3	3	4	3,3
НІР ₀₅		0,72	1,05	0,66	

Результати застосування препарату Clonex Purple під час укорінення живців чітко простежується візуально на рис. 3.5.



Рис. 3.5. Візуальний прояв впливу препарату Clonex Purple на укорінення живців ялини колючої форми блакитної

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок про чітко виражену залежну від концентрації реакцію живців на дію ауксину. Помірні концентрації ІМК сприяли інтенсивнішій ініціації адвентивних коренів, імовірно, через активацію поділу клітин камбіальної зони та посилення диференціації кореневих примордіїв. Водночас підвищення концентрації до 5000 мг/л не лише не покращувало показники, а й істотно їх знижувало, що може бути пов'язано з надлишковим гормональним навантаженням на тканини та можливим фітотоксичним ефектом. Перевага Clonex Purple, концентрація якого визначається вмістом ІМК у препараті, свідчить про оптимальне поєднання діючої речовини з гелевою основою, яка забезпечує пролонгований контакт стимулятора з поверхнею живця та стабільні умови для перебігу фізіолого-біохімічних процесів. На відміну від водних розчинів ІМК, гелева матриця забезпечує щільне прилягання препарату до поверхні зрізу живця, створюючи рівномірну плівку, яка мінімізує втрати діючої речовини. Така консистенція запобігає швидкому стіканню ауксину, сприяє його поступовій дифузії в тканини та підтримує локально підвищену концентрацію регулятора росту саме в зоні ініціації адвентивних коренів. Крім того, гелева форма часто містить допоміжні компоненти (антисептичні та стабілізуючі добавки), що зменшують ризик інфікування ранової поверхні та підтримують фізіологічну активність клітин у період калюсоутворення [181, 231].

3.2 Вплив стимуляторів укорінення на кількість коренів у стеблових живців ялини колючої форми блакитної

Упродовж 2023–2025 рр. було проведено дослідження з вивчення впливу ІМК на формування адвентивної кореневої системи у стеблових живців *Picea pungens* f. *glauca* з урахуванням двох факторів – концентрації препарату та тривалості замочування. Узагальнені результати наведено в табл. 3.5, яка відображає залежність між концентрацією та часом оброблення живців ауксином.

У 2023 році встановлено, що за мінімальної концентрації 50 мг/л інтенсивність утворення коренів залежало від тривалості замочування: за 6-годинного замочування формувалося 3 корені, за 12-годинного – 5, за 24-годинного – 7. Підвищення концентрації до 100 мг/л призводило до істотного зростання кількості коренів – 7–8 шт. незалежно від тривалості замочування. Найвищий показник у цьому році отримано при концентрації 150 мг/л та 6-годинному замочуванні – 10 коренів, що вказує на досягнення оптимального рівня гормональної стимуляції. Водночас подовження замочування до 12 годин знижувало показник до 7 коренів, а за 24 годин – до 2, що відповідало контрольному варіанту без застосування стимулятора (2 корені).

Таблиця 3.5

Кількість коренів у стеблових живців ялини колючої форма блакитна за різної концентрації ІМК та тривалості замочування, шт.

Індоліл 3-масляна кислота мг/л Фактор А	Тривалість замочування, год Фактор В	Рік досліджень			Середнє за 2023–2025pp
		2023	2024	2025	
		Кількість коренів шт.			
Контроль (вода)	-	2	3	2	2,3
50	6	3	4	4	3,7
	12	5	4	5	4,7
	24	7	6	6	6,3
100	6	7	7	8	7,3
	12	8	7	8	7,7
	24	8	7	7	7,3
150	6	10	10	9	9,7
	12	7	8	8	7,7
	24	2	3	3	2,7
НІР ₀₅ фактора А		0,55	0,52	0,52	
НІР ₀₅ фактора В		0,48	0,45	0,45	
НІР ₀₅ фактора АВ		0,96	0,91	0,89	

Отже, вже у перший рік досліджень простежувалася тенденція до пригнічення ризогенезу при надмірній тривалості замочування концентрацією

150 мг/л. У всіх варіантах дослідження, де кількість сформованих коренів перевищувала контрольний показник, різниця була статистично достовірною, оскільки перевищувала значення HP_{05} . Винятком був варіант із застосуванням концентрації 150 мг/л та 24-годинної експозиції, де кількість коренів відповідала контрольному варіанту.

У 2024 році отримані результати підтвердили встановлені закономірності. За концентрації 50 мг/л кількість коренів становила 4–6 залежно від тривалості замочування, що знову демонструвало позитивний вплив пролонгованої експозиції при низькій концентрації. За концентрації 100 мг/л показник стабілізувався на рівні 7 коренів незалежно від часу оброблення, що свідчить про відсутність вираженого ефекту насичення або токсичності в межах досліджуваних інтервалів. Концентрація 150 мг/л забезпечила максимальний результат за 6-годинного замочування – 10 коренів, однак за 24-годинного замочування цей показник зменшувався до 3 коренів. У контрольному варіанті формувалося 3 корені, даний показник перевищував показник попереднього року, однак був меншим відносно варіантів із застосуванням стимулятора. У більшості варіантів дослідження кількість сформованих коренів достовірно перевищувала контрольний рівень (3 корені), що підтверджується значеннями HP_{05} . Найвищі показники при застосуванні ІМК у концентрації 150 мг/л за 6-годинного замочування (10 коренів), характеризувалися істотною перевагою як над контролем, так і над іншими варіантами досліду. Винятком був варіант із застосуванням концентрації 150 мг/л за 24-годинного замочування, де кількість коренів становила 3 і відповідала контрольному варіанту, у зв'язку з чим перевага над контрольним варіантом не простежувалася.

У 2025 році характер реакції залишався аналогічним. За концентрації 50 мг/л спостерігалось поступове зростання кількості коренів із 4 до 6 при збільшенні експозиції. За концентрації 100 мг/л формувалося 7–8 коренів, що підтверджує стабільність оптимального ефекту цієї концентрації. Найбільш інтенсивне утворення коренів знову зафіксовано за концентрації 150 мг/л і 6 годинах замочування – 9 коренів, тоді як 24-годинне замочування знижувало

показник до 3. У контролі сформувалося 2 корені. У більшості варіантів дослідження кількість сформованих коренів достовірно перевищувала контрольний показник (2 корені), що підтверджено значеннями HP_{05} . Найвищий показник, як і в попередні роки, зафіксовано при застосуванні ІМК у концентрації 150 мг/л за 6-годинного замочування (9 коренів), що істотно перевищувало як контроль, так і інші варіанти досліду.

Сила впливу фактора «концентрація» протягом трирічного періоду становила 50–65 %, що свідчить про його значну роль у формуванні показника кількості коренів у стеблових живців. Вплив фактора «тривалість замочування» був незначним і перебував у межах 2–5 %. Водночас взаємодія факторів «концентрація і тривалість замочування» характеризувалася помірною силою впливу 26–43 %, що вказує на наявність комбінованого ефекту досліджуваних факторів.

Середні значення за три роки дозволяють зробити узагальнюючі висновки. За концентрації 50 мг/л кількість коренів зростала від 3,7 за 6-годинного замочування до 6,3 за 24-годинного замочування, що вказує на кумулятивний ефект тривалого впливу слабкої концентрації. За концентрації 100 мг/л показники становили 7,3–7,7 кореня і практично не залежали від тривалості замочування, що свідчить про стабільний оптимум у межах цього дозування. Найвищий середній показник – 9,7 кореня – отримано за концентрації 150 мг/л і 6-годинній експозиції. Подовження замочування до 12 годин зменшувало кількість коренів до 7,3, а до 24 годин – до 2,7, що фактично нівелювало позитивний ефект стимулятора й наближалось до контрольного рівня (2,3 кореня).

Таким чином, встановлено чітку взаємодію між концентрацією ІМК та тривалістю її дії. Низька концентрація вимагає довшої експозиції для реалізації стимулюючого ефекту, середня забезпечує стабільні показники незалежно від часу оброблення, більша концентрація проявляє максимальний стимулюючий ефект лише за короткотривалої дії, після чого переходить у фазу пригнічення. Отримані результати встановлюють, що для стеблових живців *Picea pungens* f.

глауса оптимальною є комбінація концентрація 150 мг/л ІМК та 6-годинного замочування.

Упродовж 2023–2025 років було проведено дослідження впливу нафтилоцтової кислоти (НОК) на інтенсивність формування адвентивної кореневої системи у стеблових живців ялини колючої форми блакитної. Узагальнені дані дослідження наведено в табл. 3.6, яка відображає залежність між концентрацією та часом оброблення живців ауксином.

Таблиця 3.6

Кількість коренів у стеблових живців ялини колючої форми блакитної за різної концентрації НОК та тривалості замочування живців

Нафтилоцтова кислота мг/л Фактор А	Тривалість замочування, годин Фактор В	Рік досліджень			Середнє за 2023–2025pp
		2023	2024	2025	
		Кількість коренів шт.			
Контроль (вода)	-	2	2	3	2,3
50	6	2	3	3	2,7
	12	4	3	4	3,7
	24	5	5	4	4,7
100	6	5	6	6	5,7
	12	6	7	6	6,3
	24	6	5	5	5,3
150	6	7	8	8	7,7
	12	5	4	4	4,3
	24	2	2	3	2,3
НІР ₀₅ фактора А		0,56	0,54	0,60	
НІР ₀₅ фактора В		0,48	0,47	0,52	
НІР ₀₅ фактора АВ		0,96	0,93	1,04	

У 2023 році встановлено, що за концентрації 50 мг/л спостерігалось поступове зростання кількості коренів із подовженням тривалості замочування: при 6-годинній експозиції формувалося 2 корені, за 12-годинного замочування – 4, за 24-годинного замочування – 5. Отже, у межах низької концентрації стимулятора простежується позитивний ефект часу дії. Підвищення концентрації до 100 мг/л забезпечило зростання кількості коренів до 5–6 шт., причому максимальний показник (6 коренів) спостерігався за 12- та 24-годинного замочування. За концентрації 150 мг/л найвищу інтенсивність утворення коренів зафіксовано за 6-годинного замочування – 7 коренів, тоді як подовження замочування до 12 годин зменшувало показник до 5, а за тривалості замочування 24 годин – до 2 коренів, що відповідало контрольному варіанту. У контролі, де живці висаджували без оброблення НОК, формувалося лише 2 корені, що підкреслює стимулюючу роль регулятора росту в оптимальних концентраційно-часових межах. У варіантах дослідження із застосуванням концентрації 50 мг/л та 6-годинного замочування, а також за концентрації 150 мг/л та 24-годинного замочуванні переваги показників (кількість коренів) над контрольним варіантом не простежувалося, усі інші варіанти дослідження в яких зафіксовано більшу кількість коренів порівняно з контрольним варіантом, мали істотну перевагу, що підтверджено значеннями HP_{05} . Найкращі показники зафіксовано за використання 150 мг/л та 6-годинного замочування, що свідчить про досягнення оптимального співвідношення концентрації стимулятора росту та тривалості експозиції, за якого забезпечується максимальне посилення ризогенезу без проявів інгібуючої дії ауксину.

У 2024 році загальний характер реакції живців зберігся. За концентрації 50 мг/л кількість коренів становила 3 за 6- та 12-годинного замочування і 5 – за 24-годинного замочування, що знову свідчить про поступове наростання ефекту за пролонгованої експозиції слабкої концентрації. За концентрації 100 мг/л кількість коренів варіювала від 6 до 7, причому максимальний показник (7 коренів) відзначено за 12-годинного замочування. Подовження експозиції до 24

годин супроводжувалося певним зниженням інтенсивності ризогенезу (5 коренів), що може свідчити про початок прояву інгібуючої дії при надмірному контакті з ауксином. За концентрації 150 мг/л найвищий показник знову отримано за 6-годинного замочування – 8 коренів, тоді як 12-годинна експозиція знижувала кількість до 4, а 24-годинна – до 2. Контрольний варіант знову характеризувався мінімальним рівнем утворення коренів – 2 корені. У варіанті дослідження із застосуванням концентрації 150 мг/л та 24-годинного замочуванні переваги показників (кількість коренів) над контрольним варіантом не простежувалося. Усі варіанти дослідження які характеризувалися більшою кількістю коренів порівняно з контрольним варіантом, мали істотну перевагу. Найкращі показники кількості коренів зафіксовано за застосуванні концентрації 150 мг/л та 6-годинного замочування.

Результати 2025 року підтвердили встановлені тенденції. При концентрації 50 мг/л формувалося 3–4 корені залежно від тривалості замочування, причому найбільше значення (4 корені) спостерігалось за 12- та 24-годинного замочування. За концентрації 100 мг/л кількість коренів становила 5–6, із незначною перевагою 6- та 12-годинного варіантів. Найвищі показники знову зафіксовано за концентрації 150 мг/л і 6 годинах замочування – 8 коренів, тоді як подовження замочування до 12 годин зменшувало показник до 4, а за 24- годинному замочуванні – до 3 коренів. У контрольному варіанті цього року сформувалося 3 корені, що дещо вище, ніж у попередні роки, однак все одно значно поступається оптимальним варіантам із застосуванням стимулятора. У варіантах дослідження при застосуванні концентрації 50 мг/л та 150 мг/л та тривалості замочування 12 і 24 годин, перевага показників над контрольним варіантом була не достовірною. У варіантах дослідження із застосуванням концентрації 50 мг/л та 6-годинного замочування, а також за концентрації 150 мг/л та 24-годинного замочуванні переваги показників (кількість коренів) над контрольним варіантом не простежувалося, усі інші варіанти дослідження в яких зафіксовано більшу кількість коренів порівняно з

контрольним варіантом, мали істотну перевагу, що підтверджено значеннями HP_{05} .

Сила впливу фактора «концентрація» у межах трирічного періоду становила 42–50 %, що підтверджує його значну роль у формуванні кількості коренів у стеблових живців. Вплив фактора «тривалість замочування» був незначним і перебував у межах 1–7 %. Водночас взаємодія факторів «концентрація і тривалість замочування» характеризувалася помірною силою 38–40 %, що вказує на наявність ефекту їх взаємодії.

Узагальнення результатів за три роки дозволило визначити середні показники та чітко окреслити оптимальні параметри оброблення. За концентрації 50 мг/л середня кількість коренів зростала від 2,7 за 6 годин замочування до 4,7 за 24 годин замочування, що підтверджує залежність ефективності низької концентрації від тривалості експозиції. За концентрації 100 мг/л середні значення становили 5,7–6,3 кореня, із максимальним показником за 12-годинного замочування, що свідчить про досягнення близького до оптимального рівня стимуляції. Найвищий середній результат – 7,7 кореня – отримано при концентрації 150 мг/л та 6-годинній експозиції. Водночас подовження замочування до 12 годин зменшувало середню кількість коренів до 4,3, а до 24 годин – до 2,3, що фактично дорівнювало контрольному рівню (2,3 кореня). Висока концентрація (150 мг/л) проявляє максимальний стимулюючий ефект лише за короткотривалої дії, після чого спостерігається різке пригнічення ризогенезу, що може бути пов'язано з гормональним дисбалансом, надмірною акумуляцією ауксину в тканинах та переходом стимулюючої дії у фітотоксичну.

Порівнюючи результати застосування НОК із попереднім дослідом, в якому ми використовували ІМК дають підстави стверджувати про вищу морфогенетичну ефективність ІМК за однакових концентраційно-часових режимів оброблення. Якщо при використанні ІМК максимальна середня кількість коренів за три роки досягала 9,7 шт. за використання концентрації 150 мг/л та 6-годинного замочування, за застосування НОК у відповідному варіанті

цей показник становив 7,7 коренів. Аналогічна тенденція простежується і за застосування концентрації 100 мг/л, де ІМК забезпечувала стабільні значення на рівні 7,3–7,7 кореня, тоді як НОК – 5,3–6,3 кореня. Водночас обидва регулятори росту виявили подібний характер реакції: максимальний ефект при високій концентрації спостерігався за короткотривалої експозиції (6 годин), а подовження замочування до 24 годин призводило до різкого зниження інтенсивності ризогенезу, що вказує на інгібуючу дію надмірної дози ауксину. Отже, НОК позитивно впливала на формування адвентивних коренів порівняно з контролем, але ІМК продемонструвала більш виражений стимулюючий ефект і вищу морфогенетичну активність у досліджуваних умовах.

Упродовж 2023–2025 років проведено порівняльне дослідження впливу порошкоподібного препарату Rhizopon та розчинів нафтилоцтової кислоти (НОК) на інтенсивність формування адвентивних коренів у стеблових живців ялини колючої форми блакитної.

У 2023 році найвищі показники утворення коренів отримано за використання препарату Rhizopon 0,25 %, Rhizopon 0,5 % де формувалося відповідно 11 і 12 коренів на живець. Застосування препарату Rhizopon 1 % супроводжувалося різким зниженням кількості коренів до 5 штук, що свідчить про перевищення оптимального рівня ауксинової стимуляції та перехід до інгібуючого ефекту. За використання НОК у концентрації 1000 мг/л формувалося 7 коренів, за концентрації 3000 мг/л – 5 коренів, а за концентрації 5000 мг/л – лише 2 корені, що відповідало контрольному варіанту. У контролі, де живці висаджували без застосування стимуляторів, формувалося 2 корені.

Результати 2024 року практично повністю відтворили тенденції попереднього року. Препарат Rhizopon 0,25 % і Rhizopon 0,5 % знову забезпечили формування 11 і 12 коренів відповідно, тоді як препарат Rhizopon 1 % – лише 5 коренів. За використання НОК максимальний показник (7 коренів) отримано за концентрації 1000 мг/л; підвищення концентрації до 3000 мг/л зменшувало кількість коренів до 4, а до 5000 мг/л – до 2. Контрольний варіант знову характеризувався мінімальним рівнем – 2 корені.

У 2025 році динаміка залишалася аналогічною, хоча абсолютні значення дещо варіювали. Препарат Rhizopon 0,25 % забезпечив формування 10 коренів, Rhizopon 0,5 % – 11, тоді як Rhizopon 1 % – лише 4. НОК у концентрації 1000 мг/л сприяла утворенню 8 коренів, концентрації 3000 мг/л – 5 коренів, а за концентрації 5000 мг/л – 2 коренів. У контрольному варіанті сформувалося 3 корені, що дещо перевищує показники попередніх років, однак не змінює загальної тенденції. Протягом трирічного дослідження застосування НОК у концентрації 5000 мг/л забезпечило показники, ідентичні контрольному варіанту, а в 2025 році кількість коренів становила меншу кількість порівняно з контролем, у зв'язку з чим різниця була статистично недостовірною. Водночас усі інші варіанти дослідів, в яких зафіксовано вищу кількість коренів порівняно з контролем, характеризувалися достовірною перевагою, що підтверджено значеннями $HP_{0.5}$. Найвищі показники утворення коренів отримано при застосуванні препарату Rhizopon 0,5 %, що зумовлено оптимальною концентрацією діючої речовини та специфікою препаративної форми, яка забезпечує поступове надходження ауксину в тканини живця, підтримуючи стабільний рівень гормональної стимуляції без досягнення токсичних концентрацій.

Сила впливу досліджуваного фактора «стимулятора росту» протягом трирічного періоду становила 97–98 %, що підтверджує значний вплив даного фактора на кількість коренів у стеблових живців.

Узагальнення трирічних даних дозволило визначити середню морфогенетичну ефективність кожного варіанта. Найвищий середній показник зафіксовано при застосуванні препарату Rhizopon 0,5 % – 11,7 кореня на живець. Дещо нижчий, але також високий результат отримано за використання препарату Rhizopon 0,25 % – 10,7 кореня. Водночас використання препарату Rhizopon 1 % продемонструвало різке зниження ефективності – 4,7 кореня, що більш ніж удвічі менше порівняно з оптимальними варіантами. Для НОК найкращим виявився варіант із концентрацією 1000 мг/л із середнім показником 7,3 кореня. Підвищення концентрації до 3000 мг/л знижувало

середню кількість коренів до 4,7, а до 5000 мг/л – до 2 коренів, що фактично відповідало контрольному рівню (2,3 кореня).

Порівняльний аналіз показує, що порошкоподібний препарат Rhizopon 0,25 % та Rhizopon 0,5 % забезпечував значно вищу інтенсивність утворення коренів, ніж водні розчини НОК у досліджуваних концентраціях. Різниця між середнім показником Rhizopon 0,5 % (11,7 кореня) та НОК 1000 мг/л (7,3 кореня), що свідчить про більш виражену морфогенетичну активність препарату комплексної дії. Аналіз даних таблиці 3.7 показує, що усі варіанти з надмірними концентраціями ауксинів демонстрували тенденцію до зниження кількості коренів до рівня контролю, що підтверджує наявність вузького оптимуму гормональної стимуляції.

Таблиця 3.7

Кількість коренів у стеблових живців ялини колючої форми блакитної залежно від оброблення препаратом Rhizopon та розчином НОК (2023–2025 рр.)

Стимулятор росту, концентрація мг/л	Кількість коренів, шт.			Середня кількість вкорінених коренів за 2023–2025 рр., шт.
	2023	2024	2025	
Контроль (вода)	2	2	3	2,3
Rhizopon 0,25 % 2500	11	11	10	10,7
Rhizopon 0,5 % 5000	12	12	11	11,7
Rhizopon 1 % 10000	5	5	4	4,7
НОК 1000	7	7	8	7,3
НОК 3000	5	4	5	4,7
НОК 5000	2	2	2	2
НІР ₀₅	0.76	0.92	0.96	

Таким чином дані наведені в табл. 3.7 , що зроблені на основі трирічних досліджень демонструють, що для стеблових живців ялини колючої форми блакитної найбільш ефективним стимулятором коренеутворення є Rhizopon 0,5 %, який забезпечує формування максимальної кількості адвентивних коренів і характеризується стабільністю показників у різні роки досліджень. НОК у концентрації 1000 мг/л також позитивно впливає на ризогенез, однак поступається за ефективністю порошковому препарату. Надмірне підвищення концентрації як у випадку Rhizopon 1 %, так і НОК 3000–5000 мг/л супроводжується пригніченням процесів утворення коренів.

Упродовж 2023–2025 років було проведено системне трирічне дослідження, спрямоване на встановлення впливу препарату Clonex та концентрацій ІМК на процес формування адвентивної кореневої системи у стеблових живців ялини колючої форми блакитної.

У 2023 році найвищий рівень ризогенезу було зафіксовано у варіанті із застосуванням Clonex Purple – 14 коренів на один живець. Дещо нижчий, але також високий результат продемонстрував Clonex Green – 12 коренів. Натомість використання Clonex Red забезпечило лише утворення 6 коренів, що свідчить про меншу стимулюючу активність цього препарату щодо досліджуваного виду. У варіантах із застосуванням ІМК простежувалася чітка концентраційна залежність: за концентрації 1000 мг/л кількість коренів становила 9, за концентрації 3000 мг/л – 7, тоді як підвищення концентрації до 5000 мг/л призвело до різкого зниження показника до 3 коренів. Контрольний варіант без застосування стимуляторів характеризувався мінімальним рівнем коренеутворення – 2 корені, що підтверджує доцільність використання ауксиновмісних препаратів у технології живцювання.

У 2024 році загальні динаміка показників збереглася, що свідчить про стабільність реакції живців на дію досліджуваних препаратів. Clonex Green забезпечив формування 13 коренів, Clonex Purple – 13, а Clonex Red – 7 коренів. ІМК у концентрації 1000 мг/л сприяв утворенню 8 коренів, у концентрації 3000 мг/л – 6, а у концентрації 5000 мг/л – 3. У контрольному варіанті було

сформовано 3 корені. Таким чином, другий рік досліджень підтвердив як високу ефективність гелевих форм препаратів Clonex, так і зниження стимулюючої дії ІМК зі збільшенням концентрації понад оптимальний рівень.

У 2025 році результати також мали подібний характер. Clonex Green забезпечив формування 12 коренів, Clonex Purple – 13, Clonex Red – 7. ІМК у концентрації 1000 мг/л сприяв утворенню 8 коренів, за концентрації 3000 мг/л – 6, а за концентрації 5000 мг/л – 4 корені. Контрольний варіант характеризувався формуванням 3 коренів. Незначні коливання показників між роками можуть бути пов'язані фізіологічним станом маточних рослин, однак вони не змінюють загальної тенденції та підтверджують відтворюваність отриманих результатів.

Дисперсійний аналіз засвідчив істотну перевагу протягом 2023–2025 років над контрольним варіантом препаратів Clonex, варіанти дослідження із застосуванням концентрації 5000 мг/л в 2023 і 2025 році характеризувалися недостовірною перевагою над контрольним варіантом, в 2024 році перевага над контрольним показником не простежувалася, всі інші варіанти дослідження із застосуванням ІМК в концентрації 3000 мг/л, 5000 мг/л достовірно переважали контрольний показник, що підтверджено значеннями $HIP_{0.05}$. Найвищі показники ризогенезу були отримані при застосуванні препарату Clonex Purple, який перевищував інші варіанти дослідження.

Сила впливу досліджуваного фактора «стимулятора росту» протягом трирічного періоду становила 97–98 %, що підтверджує значний вплив даного фактора на кількість коренів у стеблових живців.

Узагальнення середніх показників за три роки дозволило встановити найбільш ефективні варіанти стимуляції ризогенезу. Найвищу середню кількість коренів сформовано при застосуванні Clonex Purple – 13,33 кореня на живець. Близьким за ефективністю виявився Clonex Green – 12,33 кореня. Clonex Red продемонстрував удвічі нижчий показник – 6,67 кореня, що свідчить про його меншу морфогенетичну активність у відношенні до досліджуваної культури. Серед варіантів із використанням ІМК найвищий результат отримано за концентрації 1000 мг/л – 8,33 кореня. Збільшення

концентрації до 3000 мг/л знижувало показник до 6,33, а 5000 мг/л – до 3,33 кореня, що лише незначно перевищувало контрольне значення 2,67 кореня. Узагальнені результати дослідження наведено в табл. 3.8.

Таблиця 3.8

Кількість коренів у стеблових живців ялина колюча форма блакитна залежно від оброблення препаратом Clonex та концентрації ІМК (2023–2025 рр.)

Стимулятор росту, концентрація мг/л	Кількість коренів, шт.			Середня кількість коренів за 2023– 2025 рр., шт.
	2023	2024	2025	
Контроль (вода)	2	3	3	2,7
Clonex Green 1500	12	13	12	12,3
Clonex Purple3000	14	13	13	13,3
Clonex Red 8000	6	7	7	6,7
ІМК 1000	9	8	8	8,3
ІМК 3000	7	6	6	6,3
ІМК 5000	3	3	4	3,3
НІР ₀₅	1.04	0.79	1.04	

Перевага гелевих форм Clonex над водними розчинами ІМК може пояснюватися кращим утриманням препарату на поверхні зрізу, рівномірністю нанесення та поступовим вивільненням діючої речовини, що створює стабільні умови для перебігу процесів ризогенезу. Відповідно до отриманих нами результатів, Clonex Red, хоча й містить вищу концентрацію ІМК порівняно зі звичайним водним розчином, забезпечує формування більшої кількості коренів. Це зумовлено тим, що гелева форма препарату забезпечує локалізовану дію ауксину без його швидкої дифузії та вимивання із зони зрізу, підтримує стабільну концентрацію діючої речовини на початкових етапах індукції

адвентивних коренів та оптимізує процеси клітинної диференціації, утворення калюсу і подальшої ініціації кореневих примордіїв. Крім того, поступове вивільнення ІМК із гелю знижує ризик фітотоксичної дії, можливої при короткочасному контакті з висококонцентрованими водними розчинами, що в сукупності сприяє формуванню більшої кількості коренів у живців.

Таким чином, результати трирічного дослідження підтверджують високу ефективність застосування Clonex Purple та Clonex Green для стимулювання коренеутворення у стеблових живців ялини колючої форми блакитної та обґрунтовують доцільність використання ІМК у помірних концентраціях. Отримані дані мають практичне значення для удосконалення технології вегетативного розмноження декоративних хвойних порід та підвищення якості вирощуваного садивного матеріалу.

3.3 Вплив стимуляторів укорінення на довжину коренів у стеблових живців ялини колючої форми блакитної

Впродовж 2023–2025 років було проведено трирічне дослідження, яке включало аналіз та підрахунок довжини коренів стеблових живців ялини колючої форми блакитної залежно від концентрація та тривалості замочування у водному розчині ІМК.

В усі роки досліджень контрольний варіант (без застосування ІМК) характеризувався низькими показниками довжини коренів. У 2023 році середня довжина коренів у контролі становила 16,4 см, у 2024 році – 15,5 см, у 2025 році – 14,8 см, а середнє значення за три роки дорівнювало 15,6 см. Це свідчить про обмежений потенціал природного ризогенезу без застосування екзогенних регуляторів росту та підтверджує доцільність використання синтетичних ауксинів у технології вегетативного розмноження.

За концентрації ІМК 50 мг/л простежувалася тенденція до поступового зростання довжини коренів із подовженням часу замочування живців. У 2023 році довжина коренів при 6-годинній експозиції становила 16,2 см, за 12-годинного замочування – 23,6 см, а за 24-годинного замочування – 29,8 см.

Аналогічна закономірність зберігалася у 2024 та 2025 роках, хоча абсолютні значення дещо варіювали залежно від року досліджень. Середній показник за три роки за концентрації 50 мг/л і 6 годинах становив 17,50 см, за 12-годинного замочування – 23 см, а за 24-годинного замочування – 28 см. Таким чином, за низької концентрації стимулятора подовження періоду експозиції сприяло посиленню ризогенезу, що може пояснюватися накопиченням достатньої кількості ауксину в тканинах базальної частини живця для ініціації корневих примордіїв. За 6-годинного замочування при концентрації 50 мг/л в 2023 році перевага над контрольним показником не простежувалася, всі інші варіанти дослідження при застосуванні даної концентрації мали достовірну перевагу показника «довжина коренів» над контролем протягом трирічного дослідження, що підтверджено значеннями HP_{05}

За концентрації 100 мг/л спостерігалось суттєве зростання довжини коренів порівняно з варіантами із концентрацією 50 мг/л. У 2023 році максимальний показник був зафіксований за 12-годинного замочування 35,4 см, тоді як за 6-годинного замочування він становив 29,9 см, за 24-годинного замочування – 32,6 см. У 2024 та 2025 роках ця тенденція в цілому зберігалася, хоча різниця між 12 та 24 годинами була менш вираженою. Середні значення за 2023–2025 рр. становили відповідно 30,5 см (6 год), 33,8 см (12 год) і 32,2 см (24 год). Отже, оптимальною тривалістю експозиції за концентрації 100 мг/л можна вважати 12 годин, оскільки саме за цього режиму формувалася найбільш розвинена коренева система. Подовження замочування до 24 годин не забезпечувало додаткового стимулюючого ефекту, що може свідчити про наближення до межі фітотоксичного впливу. Всі варіанти дослідження протягом трирічного періоду за використання концентрації 100 мг/л характеризувалися достовірною перевагою показника «довжина коренів» над контрольним варіантом (обробка водою), що підтверджено значеннями HP_{05} .

Найбільш виражений стимулюючий ефект спостерігався за концентрації 150 мг/л при 6-годинному замочуванні. У 2023 році довжина коренів становила 38,6 см, у 2024 – 37,9 см, у 2025 – 36,3 см, а середній показник за три роки

дорівнював 37,6 см, що є максимальним серед усіх варіантів дослідів. Це свідчить про те, що поєднання підвищеної концентрації ІМК із помірною тривалістю замочування створює оптимальні умови для індукції та подальшого росту адвентивних коренів.

Водночас подовження тривалості замочування за концентрації 150 мг/л мало виражений інгібуючий ефект. За 12-годинного замочування середня довжина коренів за три роки становила 31,3 см, що суттєво менше порівняно з 6-годинним варіантом. Особливо різке зниження показників зафіксовано за 24-годинного замочування: у 2023 році – 16,1 см, у 2024 – 17,4 см, у 2025 – 17,3 см; середнє значення – 16,9 см, що практично дорівнює контролю. Така реакція свідчить про токсичний або інгібуючий вплив надмірної дози ауксину за тривалої експозиції, що, ймовірно, призводить до порушення клітинної диференціації та гальмування подальшого росту коренів. Варіант із застосуванням концентрації 150 мг/л за 24-годинного замочування в 2023 році не переважав контрольний варіант за показником «довжина коренів», в 2024 році за 24-годинного замочування перевага над контрольним варіантом була недостовірною, всі інші варіанти дослідження характеризувалися достовірною перевагою над контролем, що підтверджено значеннями HP_{05} .

Сила впливу фактора «концентрація» у межах трирічного періоду становила 54–67 %, що свідчить про його значну роль у формуванні кількості коренів у стеблових живців. Вплив фактора «тривалість замочування» був незначним і перебував у межах 1–3 %. Водночас взаємодія факторів «концентрація і тривалість замочування» характеризувалася помірною силою 27–43 %, що вказує на наявність ефекту їх взаємодії.

Загалом аналіз трирічних даних, який наведений в табл. 3.9 підтверджує наявність чіткої взаємодії між концентрацією ІМК та тривалістю замочування живців. За низьких концентрацій (50 мг/л) ефект залежить переважно від часу експозиції, тоді як за середніх (100 мг/л) формується оптимум при 12 годинах. За високої концентрації (150 мг/л) максимальний стимулюючий ефект

досягається лише за короткочасної обробки, тоді як подовження замочування викликає пригнічення ростових процесів.

Таблиця 3.9

Довжина коренів у стеблових живців ялини колючої форми блакитної, за різної концентрації ІМК та тривалості замочування, см

Індоліл 3-масляна кислота мг/л Фактор А	Тривалість замочування, год Фактор В	Рік досліджень			Середнє за 2023–2025pp
		2023	2024	2025	
		Довжина коренів см.			
Контроль (вода)	-	16,4	15,5	14,8	15,6
50	6	16,2	18,2	18,1	17,5
	12	23,6	21,3	24,1	23
	24	29,8	27,4	26,9	28
100	6	29,9	29,7	31,9	30,5
	12	35,4	32,2	33,7	33,8
	24	32,6	32,4	31,5	32,2
150	6	38,6	37,9	36,3	37,6
	12	30,5	32,1	31,4	31,3
	24	16,1	17,4	17,3	16,9
НІР ₀₅ фактора А		0,71	1,22	1,19	
НІР ₀₅ фактора В		0,61	1,06	1,03	
НІР ₀₅ фактора АВ		1,23	2,11	2,06	

Таким чином, результати, наведені в табл. 3.9, переконливо демонструють, що для стимуляції формування довшої та більш розвиненої кореневої системи у стеблових живців ялини колючої форми блакитної найбільш ефективним є режим замочування в розчині ІМК концентрацією 150 мг/л протягом 6 годин.

Впродовж 2023–2025 років було проведено ще одне трирічне дослідження, яке включало аналіз та підрахунок довжини коренів стеблових живців ялини колючої форми блакитної залежно від концентрація та тривалості замочування у водному розчині НОК.

У контрольному варіанті, де живці висаджували без попереднього замочування в розчині НОК, середня довжина коренів у 2023 році становила 15,7 см, у 2024 році – 15,1 см, у 2025 році – 15,6 см. Середній показник за три роки дорівнював 15,5 см. Відносна стабільність цього значення в різні роки свідчить про типовий рівень природного ризогенезу для досліджуваного виду за умов експерименту. Саме від даних результатів доцільно оцінювати ефективність дії НОК.

За концентрації 50 мг/л простежується поступове зростання довжини коренів зі збільшенням тривалості замочування. У 2023 році показники становили відповідно 16,9 см (6 год), 19,2 см (12 год) і 21,2 см (24 год). Подібна тенденція зафіксована і в 2024 та 2025 роках. Узагальнене середнє значення за 2023–2025 рр. дорівнює 17,4 см при замочуванні на 6 год, 19 см при замочуванні на 12 год і 21 см при замочуванні на 24 год. Отже, за низької концентрації НОК подовження експозиції сприяє більш вираженому росту коренів. Це пов'язано з поступовим накопиченням ауксину в тканинах базальної частини живця та активацією процесів ініціації кореневих примордіїв. Водночас навіть за максимальної тривалості (24 год) показники лише помірно перевищують контроль, що свідчить про обмежений стимулюючий потенціал цієї концентрації. Показники довжини коренів за 6-годинного замочування в 2023 і 2025 році характеризувалися неістотною перевагою над контрольним варіантом (оброблення водою), в 2024 році за 6-годинного замочування простежувалася істотна перевага над контролем, всі інші варіанти протягом трирічного дослідження також характеризувалися істотною перевагою над контролем, що підтверджується значеннями HP_{05} .

За концентрації 100 мг/л ефект НОК стає більш вираженим. У 2023 році довжина коренів становила 23,3 см (6 год), 25,6 см (12 год) і 27,4 см (24 год). У 2024 році максимальний показник спостерігався за 12-годинного замочування (29,8 см), тоді як за 24-годинного замочування він зменшувався до 25,5 см. У 2025 році аналогічно найкращі результати отримано при 12-годинному замочуванні (28,2 см). Середні трирічні значення становили 23,9 см (6 год), 27,9

см (12 год) і 25,9 см (24 год). Таким чином, для концентрації 100 мг/л оптимальною виявилася замочування на 12 годин, за якої формувалася найдовша коренева система. Подовження замочування до 24 годин не забезпечувало додаткового стимулювання, а в окремі роки супроводжувалося навіть зниженням показників, що свідчить про початкові прояви інгібуючого ефекту при тривалому впливі. Всі варіанти дослідження характеризувалися істотною перевагою над контрольними показниками протягом трирічного періоду, що підтверджується значеннями НІР₀₅.

Найбільш контрастні результати одержано за концентрації 150 мг/л. У 2023 році за 6-годинного замочування довжина коренів становила 29,8 см, у 2024 році – 31,6 см, у 2025 році – 32,1 см. Середній показник за три роки дорівнював 31,2 см, що є максимальним серед усіх досліджених варіантів із застосуванням НОК. Це свідчить про високу ефективність короткочасної обробки живців підвищеною концентрацією ауксину для стимуляції інтенсивного росту адвентивних коренів.

Водночас подовження тривалості замочування за цієї концентрації супроводжувалося суттєвим зниженням довжини коренів. За 12-годинного замочування середній показник становив 22,4 см, що майже на 9 см менше порівняно з 6-годинним варіантом замочування. Ще більш виражене пригнічення спостерігалось за 24-годинного замочування: у 2023 році – 14,8 см, у 2024 році – 14,5 см, у 2025 році – 15,9 см; середнє трирічне значення становить – 15,1 см, що навіть менше за контрольний показник. Перевага над контрольним варіантом за 24-годинного замочування в 2025 році була не достовірною, варіанти дослідження за даної експозиції в 2023 та 2024 році становили меншу довжину коренів ніж в контрольному варіанті, за 6-годинного та 12-годинного замочування простежувалася достовірна перевага показників над контрольним варіантом протягом трирічного дослідження, що підтверджується значеннями НІР₀₅.

Сила впливу фактора «концентрація» у межах трирічного періоду становила 50–54 %, що свідчить про його значну роль у формуванні довжини

коренів у стеблових живців. Вплив фактора «тривалість замочування» був незначним і перебував у межах 4–5 %. Водночас взаємодія факторів «концентрація і тривалість замочування» характеризувалася помірною силою 37–38%, що вказує на наявність ефекту їх взаємодії.

Як помітно з табл. 3.10 така динаміка свідчить про наявність чітко вираженого між часом замочування живців та концентрацією ауксину: за високої концентрації НОК надмірна тривалість експозиції призводить до пригнічення ростових процесів, через токсичну дію надлишку регулятора.

Таблиця 3.10

Довжина коренів у стеблових живців ялини колючої форми блакитної, за різної концентрації НОК та тривалості замочування, см

Нафтилоцтова кислота мг/л Фактор А	Тривалість замочування, год Фактор В	Рік досліджень			Середнє за 2023– 2025рр
		2023	2024	2025	
		Довжина коренів см.			
Контроль (вода)	-	15,7	15,1	15,6	15,5
50	6	16,9	17,6	17,7	17,4
	12	19,2	18,8	19,1	19
	24	21,2	21,2	20,5	21
100	6	23,3	24,6	23,9	23,9
	12	25,6	29,8	28,2	27,9
	24	27,4	25,5	24,9	25,9
150	6	29,8	31,6	32,1	31,2
	12	24,3	21,9	20,9	22,4
	24	14,8	14,5	15,9	15,1
НІР ₀₅ фактора А		1,15	1,07	1,25	
НІР ₀₅ фактора В		0,99	0,92	1,08	
НІР ₀₅ фактора АВ		1,99	1,85	2,16	

Загалом результати, наведені в табл. 3.10, демонструють закономірну взаємодію двох факторів – концентрації НОК і тривалості замочування. За низької концентрації (50 мг/л) ефект прямо залежить від тривалості експозиції, проте залишається помірним. За середньої концентрації (100 мг/л) формується

чіткий оптимум за 12 годинного замочування. За високої концентрації (150 мг/л) максимальний стимулюючий ефект досягається лише за короткочасної обробки (6 год), тоді як подовження замочування спричиняє різке зниження довжини коренів до рівня контролю.

Впродовж 2023–2025 років було проведено трирічне дослідження, яке включало аналіз та підрахунок довжини коренів у стеблових живців ялини колючої форми блакитної залежно від оброблення порошкоподібним препаратом Rhizoron та від концентрації та тривалості замочування у водному розчині НОК.

У 2023 році найвищі показники довжини коренів отримано за застосування препарату Rhizoron 0,5 %, де середня довжина коренів становила 44,4 см. Дещо нижчий, проте також високий результат зафіксовано при використанні Rhizoron 0,25 % – 41,8 см. Натомість застосування препарату Rhizoron 1 % супроводжувалося істотним зниженням показника до 27,1 см, що свідчить про наявність оптимуму дії препарату та можливий пригнічуючий ефект за надмірної концентрації. За використання НОК у формі водних розчинів спостерігалася інша градація ефективності. За концентрації 1000 мг/л довжина коренів становила 29,9 см, за концентрації 3000 мг/л – 23,7 см, а за концентрації 5000 мг/л – лише 14,8 см, що фактично відповідало рівню контролю 14,9 см. Варіант із застосуванням концентрації 5000 мг/л не мав переваги над контрольним показником. Усі інші варіанти дослідження характеризувалися істотною перевагою показників над контрольним варіантом, що підтверджується значеннями HP_{05} . Таким чином, у 2023 році простежується чітка тенденція до зниження морфометричних показників кореневої системи зі зростанням концентрації НОК.

У 2024 році отримані дані практично підтвердили тенденції попереднього року. Максимальна довжина коренів знову зафіксована у варіанті з Rhizoron 0,5 % – 44,5 см. При застосуванні препарату Rhizoron 0,25 % довжина коренів становила 41,7 см, що свідчить про стабільно високий стимулюючий ефект препарату в межах цих концентрацій. Застосування препарату Rhizoron 1 %

знову призвело до зменшення довжини коренів – до 27,5 см. У варіантах із НОК найбільший показник відзначено за використання концентрації 1000 мг/л – 29,5 см. Збільшення концентрації до 3000 мг/л знизило довжину коренів до 21,6 см, а за концентрації 5000 мг/л – до 14,4 см, що навіть дещо менше за контроль (14,7 см). Така закономірність підтверджує інгібуючий ефект високих концентрацій синтетичного ауксину. Отже при застосуванні концентрації 5000 мг/л переваги над контрольним варіантом не проявлялося, усі інші варіанти дослідження характеризувалися достовірною перевагою показників над контрольним варіантом, що підтверджується значеннями HP_{05} .

У 2025 році збережено загальну спрямованість реакції живців на застосовані препарати. Найвищий показник довжини коренів знову отримано при використанні препарату Rhizopon 0,5 % – 43,6 см, тоді як застосування препарату Rhizopon 0,25 % забезпечило формування коренів довжиною – 40,6 см. Застосування препарату Rhizopon 1 % зумовило суттєве зниження довжини коренів до 22,3 см. Серед варіантів із застосування НОК найефективнішою залишалася концентрація 1000 мг/л (30,7 см). За концентрації 3000 мг/л довжина коренів становила 22,2 см, а за концентрації 5000 мг/л довжина коренів становила – 14,9 см, що фактично не перевищувало варіанту з контрольною обробкою, довжина коренів становила 15,7 см. Дисперсійний аналіз засвідчив аналогічні закономірності, встановлені у попередні роки досліджень. Порівняння значень і використання HP_{05} показало, що показники довжини коренів при застосуванні НОК у концентрації 5000 мг/л не перевищували контрольний показник, у зв'язку з чим різниця була статистично недостовірною. Водночас інші варіанти досліджуваного фактора «стимулятора росту» на довжину коренів стеблових живців ялини колючої форми блакитної був статистично значущим, сила впливу становила 99 % протягом трирічного періоду, що свідчить про важливу роль оброблення у формуванні кореневої системи.

Аналіз середніх показників за 2023–2025 рр. дозволяє сформулювати чіткі висновки щодо ефективності досліджуваних варіантів. Що простежується в табл. 3.11.

Таблиця 3.11

Довжина коренів у стеблових живців ялини колючої форми блакитної залежно від оброблення препаратом Rhizopon та концентрації НОК, см

Стимулятор росту, концентрація мг/л	Довжина коренів, см.			Середня довжина коренів за 2023–2025 рр., см.
	2023	2024	2025	
Контроль (вода)	14,9	14,7	15,7	15,1
Rhizopon 0,25 % 2500	41,8	41,7	40,6	41,4
Rhizopon 0,5 % 5000	44,4	44,5	43,6	44,2
Rhizopon 1 % 10000	27,1	27,5	22,3	25,6
НОК 1000	29,9	29,5	30,7	30
НОК 3000	23,7	21,6	22,2	22,5
НОК 5000	14,8	14,4	14,9	14,7
НІР05	1.87	2.39	2.28	

Найвищу середню довжину коренів було зафіксовано при застосуванні препарату Rhizopon 0,5 % довжина коренів становила 44,2 см. Дещо нижчий, але стабільно високий результат отримано при застосуванні препарату Rhizopon 0,25 % довжина коренів становила 41,4 см. Таким чином, обидва препарату демонструють виражений стимулюючий ефект, однак препарат Rhizopon 0,5 % є оптимальним в умовах проведеного експерименту. Використання Rhizopon 1 % знизило середній показник довжини коренів до 25,6 см, що свідчить про перевищення оптимальної концентрації діючої речовини та часткове пригнічення ростових процесів.

За застосування НОК, максимальна середня довжина коренів зафіксована при концентрації 1000 мг/л довжина коренів становила 30 см. Підвищення концентрації до 3000 мг/л зумовило зниження показника довжини коренів до 22,5 см, а за концентрації 5000 мг/л середнє значення довжини коренів становило 14,7 см, що практично дорівнює контролю (15,1 см). Це підтверджує чітко виражений негативний ефект надмірних концентрацій ауксину на формування кореневої системи.

Загалом результати трирічних досліджень свідчать про наявність чітко вираженого оптимуму концентрації ауксиновмісних препаратів для стимуляції ризогенезу. Найбільш ефективним варіантом за показником довжини коренів виявилось застосування препарату Rhizopon 0,5 %, тоді як підвищення концентрації як у випадку Rhizopon 1 %, так і НОК 3000–5000 мг/л призводило до зниження інтенсивності росту кореневої системи.

Впродовж 2023–2025 років було проведено трирічне дослідження, яке включало аналіз та підрахунок довжини коренів стеблових живців ялини колючої форми блакитної залежно від оброблення гелеподібним препаратом Clonex та від концентрації та тривалості замочування у водному розчині ІМК.

У 2023 році найвищі показники довжини коренів були зафіксовані при застосуванні препарату Clonex Purple, довжина коренів становила 47,9 см, що свідчить про його високу стимулюючу активність щодо процесів утворення коренів в ялини колючої форми блакитної. Дещо нижчий, проте також значний результат отримано у варіанті з використанням Clonex Green довжина коренів становила 44,4 см. При застосуванні Clonex Red довжина коренів становила 26,4 см, що вказує на меншу ефективність цього препарату для ялини колючої порівняно з попередніми варіантами. У варіантах із використанням ІМК встановлено залежність від концентрації діючої речовини: за концентрації 1000 мг/л довжина коренів становила 34,8 см, за концентрації 3000 мг/л довжина коренів становила 29,1 см, тоді як за концентрації 5000 мг/л спостерігалось істотне зниження показника, довжина коренів становила 17,1 см. У контрольному варіанті, де живці висаджували без попередньої обробки

стимуляторами, довжина коренів становила лише 14,3 см, що підтверджує доцільність застосування екзогенних регуляторів росту.

У 2024 році загальна тенденція збереглася. Найвищі показники знову зафіксовано у варіантах із застосування препаратів Clonex: при використанні Clonex Green довжина коренів становила 45,8 см, при використанні Clonex Purple довжина коренів становила 46,1 см. Застосування Clonex Red забезпечило формування кореневої системи довжиною 27,8 см. Для ІМК отримано такі значення: 32,8 см за концентрації 1000 мг/л, 26,8 см за концентрації 3000 мг/л та 17,5 см за концентрації 5000 мг/л. У контролі довжина коренів становила 15,3 см. У 2025 році результати також підтвердили сталість виявлених закономірностей: у варіанті з Clonex Green довжина коренів дорівнювала 44,7 см, з Clonex Purple довжина коренів становила 46,3 см, з Clonex Red довжина коренів становила 27,9 см. При застосуванні ІМК у концентрації 1000 мг/л показник становив 33,7 см, за концентрації 3000 мг/л довжина коренів становила 26,8 см, за концентрації 5000 мг/л довжина коренів становила 17,6 см, тоді як у контрольному варіанті довжина коренів становила 15,9 см.

Усі варіанти дослідження протягом трирічного періоду характеризувалися достовірною перевагою над контрольним варіантом (обробка водою), що підтверджується значеннями HP_{05} . Сила впливу досліджуваного фактора «стимулятора росту» протягом трирічного періоду становила 99 %, що підтверджує значний вплив даного фактора на довжину кореневої системи.

Узагальнення трирічних експериментальних даних дозволило визначити середні значення довжини коренів за 2023–2025 рр., які наведено в табл. 3.12. Для Clonex Green середній показник довжини коренів становив 45 см, для Clonex Purple середній показник довжини коренів становив 46,8 см, для Clonex Red середній показник довжини коренів становив 27,4 см. У варіантах із застосуванням ІМК встановлено, що за концентрації 1000 мг/л середня довжина коренів становила 33,8 см, за концентрації 3000 мг/л середня довжина коренів

становила 27,6 см, а за концентрації 5000 мг/л середня довжина коренів становила 17,4 см. У контрольному варіанті середній показник довжини коренів за три роки становив 15,2 см.

Таблиця 3.12

Довжина коренів у стеблових живців ялини колючої форми блакитної залежно від оброблення препаратом Clonex та концентрації ІМК, см

Стимулятор росту, концентрація мг/л	Довжина коренів, см.			Середня довжина коренів за 2023–2025 рр., см.
	2023	2024	2025	
Контроль (вода)	14,3	15,3	15,9	15,2
Clonex Green 1500	44,4	45,8	44,7	45
Clonex Purple3000	47,9	46,1	46,3	46,8
Clonex Red 8000	26,4	27,8	27,9	27,4
ІМК 1000	34,8	32,8	33,7	33,8
ІМК 3000	29,1	26,8	26,8	27,6
ІМК 5000	17,1	17,5	17,6	17,4
НІР ₀₅	2.03	1.35	1.66	

Аналіз отриманих результатів свідчить, що найбільш ефективним для стимуляції розвитку кореневої системи стеблових живців ялини колючої форми блакитної є застосування Clonex Purple, який забезпечував максимальні морфометричні показники впродовж усього періоду досліджень. Дещо нижчі, але стабільно високі результати отримано при використанні Clonex Green. ІМК у концентрації 1000 мг/л проявила помірний стимулюючий ефект, однак зі збільшенням концентрації до 3000 та особливо до 5000 мг/л спостерігалось зниження довжини коренів, що свідчить про інгібувальну дію надлишкових доз ауксину. Порівняно з контролем усі варіанти із застосуванням стимуляторів

продемонстрували підвищення інтенсивності коренеутворення, що підтверджує ефективність використання регуляторів росту у технології вегетативного розмноження ялини колючої форми блакитної.

3.4 Вплив стимуляторів укорінення на довжину надземного приросту у стеблових живців ялини колючої форми блакитної

У табл. 3.13 наведено результати трирічних досліджень (2023–2025 рр.), спрямованих на встановлення впливу ІМК на інтенсивність росту надземної частини укорінених стеблових живців ялини колючої форми блакитної. Аналіз отриманих даних свідчить про чітко виражену залежність довжини приросту від концентрації регулятора росту та тривалості обробки.

У 2023 році за концентрації 50 мг/л простежувалася тенденція до поступового збільшення довжини приросту зі зростанням тривалості замочування: за 6-годинного замочування приріст становив 2,2 см, за 12-годинного замочування приріст становив 2,5 см, а за 24-годинного приріст становив 3,0 см. За концентрації 100 мг/л показники були вищими і коливалися в межах 3,3–3,6 см, причому максимальне значення (3,6 см) зафіксовано за 12-годинного замочування, тоді як подовження експозиції до 24 годин супроводжувалося незначним зниженням приросту надземної частини до 3,4 см. Найбільш виражений стимулюючий ефект у 2023 році спостерігався при застосуванні концентрації 150 мг/л протягом 6 годин, де довжина приросту становила 3,8 см; за 12-годинного замочування цей показник зменшився до 3,4 см, а за 24-годинного замочування різко знижувався до 1,9 см, що може свідчити про інгібуючий вплив тривалої дії високої концентрації ауксину. У контрольному варіанті без застосування стимулятора приріст становив 2,1 см. У варіанті із застосуванням концентрації 50 мг/л та 6-годинного замочуванні перевага над контрольним варіантом була не достовірною, у варіанті із застосуванням концентрації 150 мг/л та 24-годинному замочуванні перевага над контролем не простежувалася, усі інші варіанти дослідження мали достовірну перевагу над контрольним варіантом, що підтверджується значеннями HP_{05} .

У 2024 році встановлено аналогічні закономірності. За концентрації 50 мг/л приріст становив 2,3 см при 6 і 12 годинах замочування, та 2,8 см за 24-годинному замочуванні. За концентрації 100 мг/л показники були стабільними – 3,3–3,4 см незалежно від тривалості замочування, що підтверджує оптимальність цього діапазону концентрації для активізації ростових процесів. При використанні концентрації 150 мг/л знову відзначено максимальний приріст за 6-годинного замочування, приріст надземної частини складав 3,7 см, тоді як подовження експозиції до 24 годин зменшувало його до 2,0 см. Контрольний варіант у 2024 році становив 2,1 см, що підтверджує стабільність базового рівня росту без застосування стимулятора. У варіанті із застосуванням концентрації 50 мг/л за 6-годинного та 12-годинного замочуванні перевага над контрольним варіантом була не достовірною, у варіанті із застосуванням концентрації 150 мг/л та 24-годинному замочуванні перевага над контролем не простежувалася, усі інші варіанти дослідження мали достовірну перевагу над контрольним варіантом, що підтверджується значеннями HP_{05} .

У 2025 році тенденції попередніх років повністю збереглися. За концентрації 50 мг/л довжина приросту надземної частини коливалася від 2,3 до 2,8 см із поступовим зростанням тривалості замочування. За концентрації 100 мг/л найвищий показник довжини надземної приросту становив 3,7 см, отримано за 12-годинного замочування, тоді як за 6-годинному замочуванні він становив 3,5 см, а за 24-годинного замочування показник довжини надземного приросту становив 3,3 см. За концентрації 150 мг/л максимальний приріст становив 3,7 см, знову зафіксовано за 6-годинного замочування, тоді як 24-годинне замочування призводило до зниження показника приросту надземної частини до 2,1 см. У контролі довжина приросту становила 2,2 см. У варіанті із застосуванням концентрації 50 мг/л та 6-годинного замочуванні перевага над контрольним варіантом (оброблення водою) була не достовірною, у варіанті із застосуванням концентрації 150 мг/л та 24-годинному замочуванні перевага над

контролем не простежувалася, усі інші варіанти дослідження мали достовірну перевагу над контрольним варіантом, що підтверджується значеннями HP_{05} .

Сила впливу фактора «концентрація» у межах трирічного періоду становила 53–61 %, що свідчить про його значну роль у формуванні довжини надземного приросту у стеблових живців. Вплив фактора «тривалість замочування» був незначним і перебував у межах 3–5 %. Водночас взаємодія факторів «концентрація і тривалість замочування» характеризувалася помірною силою 28–40%, що вказує на наявність ефекту їх взаємодії.

Узагальнення середніх значень, що відображено в табл. 3.13 за 2023–2025 роки дозволило більш чітко визначити оптимальні режими застосування ІМК.

Таблиця 3.13

Довжина приросту надземної частини у стеблових живців ялини колючої форми блакитної, за різної концентрації ІМК та тривалості замочування,

см

Індоліл 3- масляна кислота мг/л Фактор А	Тривалість замочування , год Фактор В	Рік досліджень			Середнє за 2023–2025pp
		2023	2024	2025	
		Довжина приросту см.			
Контроль (вода)	-	2,1	2,1	2,2	2,1
50	6	2,2	2,3	2,3	2,3
	12	2,5	2,3	2,5	2,4
	24	3,0	2,8	2,8	2,9
100	6	3,3	3,3	3,5	3,4
	12	3,6	3,4	3,7	3,6
	24	3,4	3,4	3,3	3,4
150	6	3,8	3,7	3,7	3,7
	12	3,4	3,4	3,3	3,4
	24	1,9	2,0	2,1	2,0
НІР ₀₅ фактора А		0,12	0,13	0,14	
НІР ₀₅ фактора В		0,10	0,11	0,12	
НІР ₀₅ фактора АВ		0,20	0,22	0,24	

За концентрації 50 мг/л середня довжина надземного приросту становила 2,3 см за 6-годинного замочування, 2,4 см за 12-годинного замочування та 2,9 см за 24-годинного замочування, що свідчить про доцільність пролонгованої обробки при низькому вмісті регулятора. За концентрації 100 мг/л середні показники становили 3,4 см 6-годинного замочування, 3,6 см за 12-годинного замочування та 3,4 см за 24-годинного замочування, причому саме 12-годинне замочування забезпечувало найвищий стабільний результат без ознак пригнічення росту. За концентрації 150 мг/л середній приріст дорівнював 3,7 см за 6-годинного замочування, 3,4 см за 12-годинного замочування і лише 2,0 см за 24-годинного замочування, що підтверджує негативний вплив тривалої експозиції високої концентрації стимулятора. Середній показник контролю за три роки становив 2,1 см.

Таким чином, результати, наведені в табл. 3.13, переконливо демонструють, що ІМК чинить виражений вплив на інтенсивність росту надземної частини укорінених живців. Оптимальними умовами для стимуляції приросту є застосування концентрації 150 мг/л протягом 6 годин або концентрації 100 мг/л протягом 12 годин, за яких довжина приросту перевищувала контрольні значення майже у 1,7–1,8 разів. Натомість надмірна тривалість дії високої концентрації зумовлює зниження ростової активності, що пов'язано з порушенням гормонального балансу та частковим пригніченням метаболічних процесів.

У табл. 3.14 наведено результати трирічних досліджень (2023–2025 рр.), присвячених оцінці впливу нафтилоцтової кислоти (НОК) на інтенсивність росту надземної частини укорінених стеблових живців ялини колючої форми блакитної.

У 2023 році за концентрації 50 мг/л встановлено поступове зростання довжини приросту надземної частини зі збільшенням тривалості замочування: за 6-годинного замочування цей показник становив 2,0 см, за 12-годинного замочування довжина приросту надземної частини становила 2,4 см, а за 24-годинного замочування довжина приросту надземної частини становила 2,6 см.

Це свідчить про позитивний ефект пролонгованої експозиції за низької концентрації НОК. За концентрації 100 мг/л інтенсивність росту була вищою: 2,7 см за 6-годинного, 3,2 см за 12-годинного замочування та 3,0 см за 24-годинного замочування. Максимальне значення у цьому варіанті зафіксовано за 12-годинного замочування, тоді як продовження експозиції до 24 годин супроводжувалося незначним зниженням показника. Найвищий приріст у 2023 році отримано за застосування концентрації 150 мг/л протягом 6 годин замочування, довжина приросту надземної частини становила 3,6 см. Подовження тривалості обробки до 12 годин знижувало приріст надземної частини до 3,0 см, а 24-годинна експозиція різко зменшувала приріст надземної частини до 1,8 см, що може вказувати на пригнічуючий вплив високої концентрації при надмірній тривалості дії. У контрольному варіанті без застосування НОК довжина приросту надземної частини становила 2,1 см. Варіанти із застосуванням концентрації 50 мг/л та 6-годинне замочування, а також застосування концентрації 150 мг/л та 24-годинне замочування встановили довжину надземного приросту нижчу за контрольний показник, усі інші варіанти дослідження характеризувалися істотною перевагою над контрольним варіантом, що підтверджується значеннями HP_{05} .

У 2024 році загальна тенденція збереглася. За концентрації 50 мг/л довжина приросту коливалася в межах 2,2–2,7 см, із максимальним значенням за 24-годинного замочування. За концентрації 100 мг/л показники приросту надземної частини становили 2,8 см за 6-годинного замочування, 3,0 см за 12-годинного замочування та 2,6 см за 24-годинного замочування, що знову підтверджує оптимальність 12-годинного замочування для даної концентрації. При використанні концентрації 150 мг/л максимальний приріст зафіксовано за 6-годинного замочування – 3,3 см; продовження замочування до 12 годин зменшувало показник приросту, він становив 2,7 см, а за 24-годинного замочування приріст зменшувався до 2,0 см. Контрольний варіант у 2024 році становив 2,1 см, що не відрізнялося від попереднього року. Варіант із застосуванням концентрації 50 мг/л та 6-годинного замочування

характеризувався не істотною перевагою над контрольним показником. Варіант із застосуванням концентрації 150 мг/л та 24-годинного замочування встановили довжину надземного приросту нижчу за контрольний показник, усі інші варіанти дослідження характеризувалися істотною перевагою над контрольним варіантом, що підтверджується значеннями НІР₀₅.

У 2025 році результати підтвердили сталість виявлених закономірностей. За концентрації 50 мг/л за 6-годинного замочування приріст надземної становив 2,2 см, за 12-годинного замочування приріст надземної становив 2,4 см та за 24-годинного замочування приріст надземної становив 2,6 см. За концентрації 100 мг/л найвищий показник знову зафіксовано за 12-годинного замочування приріст надземної частини становив 3,1 см, тоді як за 6-годинного та 24-годинного замочування приріст надземної частини становив відповідно 2,7 та 2,8 см. За концентрації 150 мг/л за 6-годинного замочування максимальний приріст становив 3,3 см, тоді як 12-годинне замочування знижувала його до 2,6 см, а за 24-годинного замочування приріст становив 2,0 см. У контролі довжина приросту становила 2,2 см. У варіантах дослідження із застосуванням концентрації 50 мг/л показник довжини надземного приросту за 6-годинного замочування не перевищував контрольний показник, за 12-годинного замочування показник довжини надземного мав перевагу над контролем, але не істотну. За концентрації 150 мг/л та 24-годинному замочуванні показник не мав перевагу над контролем, усі інші варіанти дослідження характеризувалися істотною перевагою над контролем, що підтверджується значеннями НІР₀₅.

Сила впливу фактора «концентрація» у межах трирічного періоду становила 40–42 %, що вказує на його помірну роль у формуванні довжини надземного приросту стеблових живців. Вплив фактора «тривалість замочування» був незначним і перебував у межах 4–7 %. Водночас взаємодія факторів «концентрація і тривалість замочування» характеризувалася також помірною силою 43–49 %, що свідчить про виражений ефект їх взаємодії.

Узагальнення середніх значень за три роки дозволяє більш об'єктивно оцінити ефективність досліджуваних режимів. За концентрації 50 мг/л середня довжина приросту становила 2,1 см за 6-годинного замочування, 2,4 см за 12-годинного замочування та 2,6 см за 24-годинного замочування, що підтверджує доцільність більш тривалої експозиції за низької концентрації НОК. За концентрації 100 мг/л середні показники становили 2,7 см за 6-годинного замочування, 3,1 см за 12-годинного замочування та 2,8 см за 24-годинного замочування, причому саме 12-годинне замочування забезпечувало найбільш виражений стимулюючий ефект серед даної концентрації, що свідчить про пригнічення приросту при збільшенні тривалості замочування до 24 годин. Найвищі середні значення отримано при застосуванні концентрації 150 мг/л протягом 6 годин, приріст надземної частини становив 3,4 см, що перевищує контрольний показник 2,1 см більш ніж у 1,6 рази. Водночас подовження замочування до 12 годин зменшувало середній приріст до 2,8 см, а за 24-годинного замочування приріст зменшувався до 1,9 см, що фактично відповідало або навіть поступалося контрольному варіанту.

Таблиця 3.14

Довжина приросту надземної частини у стеблових живців ялини колючої форми блакитної, за різної концентрації НОК та тривалості замочування, см

Нафтилоцтова кислота мг/л Фактор А	Тривалість замочування , год Фактор В	Рік досліджень			Середнє за 2023–2025pp
		2023	2024	2025	
		Довжина приросту см.			
1	2	3	4	5	6
Контроль (вода)	-	2,1	2,1	2,2	2,1
50	6	2,0	2,2	2,2	2,1
	12	2,4	2,3	2,4	2,4
	24	2,6	2,7	2,6	2,6
100	6	2,7	2,8	2,7	2,7
	12	3,2	3,0	3,1	3,1

Продовження таблиці 3.14

1	2	3	4	5	6
	24	3,0	2,6	2,8	2,8
150	6	3,6	3,3	3,3	3,4
	12	3,0	2,7	2,6	2,8
	24	1,8	2,0	2,0	1,9
НІР ₀₅ фактора А		0,09	0,11	0,12	
НІР ₀₅ фактора В		0,08	0,09	0,10	
НІР ₀₅ фактора АВ		0,16	0,18	0,20	

Отримані результати свідчать про те, що НОК проявляє виражений стимулюючий ефект щодо росту надземної частини укорінених живців за умови оптимального поєднання концентрації та тривалості замочування. Короткочасне замочування (6 год) у концентрації 150 мг/л або 12-годинна обробка концентрацією 100 мг/л забезпечують максимальну активацію ростових процесів. Натомість пролонгована дія високої концентрації (150 мг/л, 24 години) призводить до істотного зниження приросту, що пов'язане з порушенням гормонального балансу, накопиченням надлишкових екзогенних ауксинів і частковим пригніченням метаболічної активності апікальних меристем.

У табл. 3.15 наведено результати трирічних досліджень (2023–2025 рр.), спрямованих на оцінку впливу стимулюючих порошкових препаратів Rhizoron та концентрацій НОК на довжину надземного приросту укорінених стеблових живців ялини колючої форми блакитної.

У 2023 році застосування препаратів Rhizoron забезпечило найбільш інтенсивний розвиток надземної частини порівняно з іншими варіантами досліджу. Так, за використання препарату Rhizoron 0,25 % довжина надземного приросту становила 4,0 см, що майже вдвічі перевищувало контрольний показник який становив 2,1 см. Ще вищий ефект зафіксовано при застосуванні препарату Rhizoron 0,5, де довжина надземного приросту досягала 4,1 см, що свідчить про оптимальність цієї концентрації для стимуляції ростових процесів

надземної частини. Натомість застосування препарату Rhizopon 1 % супроводжувалося зменшенням надземного приросту до 3,1 см, що, хоча й суттєво перевищувало контроль, однак було нижчим порівняно з варіантами Rhizopon 0,25 % і Rhizopon 0,5 %.

Аналогічну тенденцію зниження ростової активності при підвищених концентраціях виявлено і при застосуванні НОК. Зокрема, за концентрації 1000 мг/л довжина надземного приросту становила 3,5 см, що на 1,4 см перевищувало контроль.

Таблиця 3.15

Довжина приросту надземної частини на укорінених живцях ялини колючої форми блакитної залежно від оброблення препаратом Rhizopon та розчином НОК (2023–2025 рр.)

Стимулятор росту, концентрація мг/л	Довжина надземного приросту, см.			Середня довжина надземного приросту за 2023–2025 рр., см.
	2023	2024	2025	
Контроль (вода)	2,1	2,2	2,1	2,1
Rhizopon 0,25 % 2500	4	3,9	3,8	3,9
Rhizopon 0,5 % 5000	4,1	4,1	4	4,1
Rhizopon 1 % 10000	3,1	3	3	3
НОК 1000	3,5	3,4	3,5	3,5
НОК 3000	2,9	2,8	2,8	2,8
НОК 5000	1,9	2	2	2
НІР ₀₅	0.20	0.26	0.21	

Зі збільшенням концентрації до 3000 мг/л цей показник зменшувався до 2,9 см, а за концентрації 5000 мг/л – до 1,9 см, що фактично відповідало або навіть поступалося контрольному варіанту, згідно табл. 3.15. Отримані дані

свідчать про наявність чітко вираженого інгібуючого ефекту високих концентрацій НОК щодо росту надземної частини. Варіант дослідження за застосування концентрації 5000 мг/л не мав переваги над контрольний варіантом, усі інші варіанти дослідження характеризувалися достовірною перевагою над контролем, що підтверджується значеннями HP_{05} . Найбільш виражений показник довжини надземного приросту зафіксовано за використання препарату Rhizoron 0,5 %, що свідчить про досягнення оптимального рівня стимуляції ростових процесів надземної частини за даної концентрації препарату, за якого забезпечується максимальний розвиток пагонів без проявів інгібуючої дії ауксину.

У 2024 році загальні закономірності, встановлені в попередньому році, збереглися. За використання препарату Rhizoron 0,25 % довжина надземного приросту становила 3,9 см, що у 1,8 разів перевищувало контрольний показник, який становив 2,2 см. Максимальний ефект знову зафіксовано при застосуванні препарату Rhizoron 0,5 % довжина надземного приросту становила 4,1 см, що підтверджує стабільність дії цього препарату та концентрації в різні роки досліджень. Використання препарату Rhizoron 1 % призводило до зниження приросту до 3,0 см, однак цей показник усе ж істотно перевищував контроль. При застосуванні НОК у концентрації 1000 мг/л довжина надземного приросту становила 3,4 см, що було на 1,2 см більше, ніж у контролі. Підвищення концентрації до 3000 мг/л зменшувало приріст до 2,8 см, а за концентрації 5000 мг/л довжина надземного приросту зменшувалася і становила 2,0 см, тобто практично до рівня контрольного варіанту. Це ще раз підтверджує, що надмірні дози синтетичних ауксинів можуть негативно впливати на морфогенез надземної частини живців. Варіант дослідження за застосування концентрації 5000 мг/л не мав переваги над контрольний варіантом, усі інші варіанти дослідження характеризувалися достовірною перевагою над контролем, що підтверджується значеннями HP_{05} . Найбільш виражений показник довжини надземного приросту зафіксовано за використання препарату Rhizoron 0,5 %.

У 2025 році результати досліджень повністю підтвердили тенденції попередніх років. За використання препарату Rhizoron 0,25 % довжина надземного приросту становила 3,8 см, тоді як препарат Rhizoron 0,5 % забезпечував приріст на рівні 4,0 см, що майже вдвічі перевищувало контрольний показник, який становив 2,1 см. Застосування препарату Rhizoron 1 % знову супроводжувалося зменшенням надземного приросту до 3,0 см. При використанні НОК у концентрації 1000 мг/л довжина надземного приросту становила 3,5 см, тоді як за концентрації 3000 мг/л довжина надземного приросту становила 2,8 см, а за концентрації 5000 мг/л довжина надземного приросту становила 2,0 см, що практично відповідало контрольному варіанту. Таким чином, упродовж трьох років чітко простежується стабільність реакції живців на досліджувані стимулюючі речовини.

Результати поточного року були аналогічними до даних попередніх років. Порівняння із застосуванням НІР₀₅ показало, що варіант досліду з використанням НОК у концентрації 5000 мг/л не мав достовірної переваги над контрольним варіантом. Водночас усі інші варіанти характеризувалися достовірно вищими показниками порівняно з контролем. Найбільшу довжину надземного приросту зафіксовано при застосуванні препарату Rhizoron 0,5 %. Сила впливу досліджуваного фактора «стимулятора росту» протягом трирічного періоду становила 96–98 %, що підтверджує значний вплив даного фактора на довжину надземного приросту.

Узагальнення середніх значень за 2023–2025 роки дозволяє об'єктивно оцінити ефективність кожного варіанта. Середня довжина надземного приросту при застосуванні препарату Rhizoron 0,25 % становила 3,9 см, а при застосуванні препарату Rhizoron 0,5 % довжина надземного приросту становила 4,1 см, що є найвищим показником серед усіх досліджуваних варіантів і перевищує контроль, який становить в середньому за три роки 2,1 см, майже у 2 рази. Використання препарату Rhizoron 1 % забезпечувало середній приріст надземної частини на рівні 3,0 см, що свідчить про зниження стимулюючого ефекту при підвищенні концентрації діючої речовини

препарату. Для НОК оптимальною виявилася концентрація 1000 мг/л, за якої середня довжина надземного приросту становила 3,5 см і перевищувала контроль у 1,7 разів. Підвищення концентрації НОК до 3000 мг/л зменшувало середній приріст надземної частини до 2,8 см, а за концентрації 5000 мг/л середній приріст надземної частини становив 2,0 см, тобто до рівня, близького або навіть нижчого за контрольний варіант.

Таким чином, результати, наведені в табл. 3.15, переконливо свідчать, що застосування препарату Rhizopon 0,5 %, є найбільш ефективним щодо стимуляції росту надземної частини укорінених стеблових живців ялини колючої форми блакитної. У порівнянні з контролем ці варіанти забезпечували суттєве зростання довжини надземного приросту, що має важливе практичне значення для прискорення формування стандартного садивного матеріалу. Водночас встановлено, що як для препарату Rhizopon , так і для НОК перевищення оптимальних концентрацій призводить до зниження ростової активності, що пов'язано з порушенням гормонального балансу та частковим інгібуванням фізіолого-біохімічних процесів у надземних органах рослин.

У табл. 3.16 наведено результати трирічних досліджень (2023–2025 рр.) щодо впливу різних гелевих препаратів Clonex та концентрацій ІМК на інтенсивність росту надземної частини укорінених стеблових живців ялини колючої форми блакитної.

У 2023 році найвищі показники довжини надземного приросту зафіксовано у варіантах із застосуванням препаратів Clonex Green, Clonex Purple та Clonex Red. Зокрема, при використанні препарату Clonex Purple довжина приросту надземної частини становила 4,5 см, що було максимальним значенням у досліді та перевищувало контроль, який становив 2,1 см більш ніж у 2,1 разів. Застосування препарату Clonex Green забезпечило приріст 4,1 см, що також удвічі перевищувало контрольний варіант. Дещо нижчий, проте суттєво вищий за контроль результат отримано при використанні препарату Clonex Red довжина надземного приросту становила 3,4 см. У варіантах із застосуванням ІМК встановлено чітку залежність ефекту від концентрації: за

концентрації 1000 мг/л довжина надземного приросту становила 3,7 см, за концентрації 3000 мг/л довжина надземного приросту становила 3,3 см, а за концентрації 5000 мг/л довжина надземного приросту становила лише 2,1 см, що дорівнювало контрольному значенню. Таким чином, надмірна концентрація ІМК у 2023 році не забезпечила стимулюючого ефекту щодо росту надземної частини. Таким чином, у 2023 році препарати Clonex виявилися ефективнішими за водні розчини ІМК, особливо у порівнянні з високою концентрацією ауксину.

Таблиця 3.16

**Довжина приросту надземної частини на укоріненних живцях ялини
колючої форми блакитної залежно від оброблення препаратом Clonex та
концентрації ІМК (2023–2025 рр.)**

Стимулятор росту, концентрація мг/л	Довжина надземного приросту. см.			Середня довжина надземного приросту за 2023–2025 рр., см.
	2023	2024	2025	
Контроль (вода)	2,1	2,2	2,2	2,2
Clonex Green 1500	4,1	4,2	4,1	4,1
Clonex Purple3000	4,5	4,3	4,3	4,4
Clonex Red 8000	3,4	3,3	3,3	3,3
ІМК 1000	3,7	3,5	3,6	3,6
ІМК 3000	3,3	3,2	3,3	3,3
ІМК 5000	2,1	2,1	2	2,1
НІР ₀₅	0.21	0.18	0.22	

Варіант дослідження за застосування концентрації 5000 мг/л не мав переваги над контрольний варіантом, усі інші варіанти дослідження характеризувалися достовірною перевагою над контролем, що підтверджується

значеннями НІР₀₅. Найбільш виражений показник довжини надземного приросту зафіксовано за використання препарату Clonex Purple

У 2024 році найвищий показник знову спостерігався у варіанті з препаратом Clonex Purple довжина надземного приросту становила 4,3 см, що у 1,95 разів перевищувало контроль (2,2 см). У варіанті за використання препарату Clonex Green довжина надземного приросту становила 4,2 см, що також свідчить про стабільно високий стимулюючий ефект препарату. Препарат Clonex Red забезпечив приріст на рівні 3,3 см, перевищуючи контроль у 1,5 разів. У варіантах з ІМК концентрація 1000 мг/л сприяла формуванню надземного приросту 3,5 см, тоді як концентрація 3000 мг/л зменшувала довжину надземного приросту до 3,2 см. При підвищенні концентрації до 5000 мг/л довжина надземного приросту знову знизилася до 2,1 см, що практично не відрізнялося від контролю. Отже, як і в попередньому році, надмірна концентрація ауксину не лише не посилювала ріст, а й нівелювала позитивний ефект регулятора. Варіант дослідження за застосування концентрації 5000 мг/л не мав переваги над контрольний варіантом, усі інші варіанти дослідження характеризувалися достовірною перевагою над контролем, що підтверджується значеннями НІР₀₅. Найбільш виражений показник довжини надземного приросту зафіксовано за використання препарату Clonex Purple.

У 2025 році знову отримано максимальний надземний приріст у варіанті з препаратом Clonex Purple він становив 4,3 см, тоді як застосування препарату Clonex Green забезпечило формування надземного приросту 4,1 см, застосування препарату Clonex Red забезпечило формування надземного приросту 3,3 см. Надземний приріст в контрольному варіанті становив 2,2 см. За використання ІМК у концентрації 1000 мг/л довжина надземного приросту становила 3,6 см, за використання концентрації 3000 мг/л довжина надземного приросту становила 3,3 см, а за використання концентрації 5000 мг/л довжина надземного приросту становила 2,0 см, що навіть дещо нижче за контрольний показник. Варіант дослідження за застосування концентрації 5000 мг/л не мав

переваги над контрольний варіантом, усі інші варіанти дослідження характеризувалися достовірною перевагою над контролем, що підтверджується значеннями HP_{05} . Найбільш виражений показник довжини надземного приросту зафіксовано за використання препарату Clonex Purple. Сила впливу досліджуваного фактора «стимулятора росту» протягом трирічного періоду становила 98 %, що підтверджує значний вплив даного фактора на довжину надземного приросту.

Аналіз середніх значень за три роки дозволяє зробити узагальнені висновки щодо ефективності досліджуваних препаратів. Найвищий середній показник довжини надземного приросту отримано за застосування препарату Clonex Purple він становив 4,4 см, що удвічі перевищує середній контрольний показник, який становить 2,2 см. Дещо нижчим, але стабільно високим був результат у варіанті препарату Clonex Green довжина надземного приросту становила 4,1 см. Використання препарату Clonex Red забезпечило середній приріст 3,3 см, що на 1,1 см більше порівняно з контролем. Серед варіантів із застосуванням ІМК найефективнішою виявилася концентрація 1000 мг/л довжина надземного приросту становила 3,6 см у середньому за три роки, що перевищує контроль на 1,4 см. Концентрація 3000 мг/л забезпечила надземний приріст 3,3 см, тобто на 1,1 см більше за контроль. Водночас застосування ІМК у концентрації 5000 мг/л дало довжину надземного приросту 2,1 см, що фактично відповідає контролю і свідчить про відсутність стимулюючого ефекту при надмірному дозуванні.

Таким чином, результати досліджень, наведені в табл. 3.16, переконливо демонструють, що для укорінених стеблових живців ялини колючої форми блакитної найбільш ефективними щодо стимулювання росту надземної частини є препарати Clonex Purple та Clonex Green. Оптимальною концентрацією ІМК можна вважати 1000 мг/л, тоді як підвищення концентрації до 5000 мг/л є недоцільним через відсутність позитивного ефекту та тенденцію до пригнічення ростових процесів.

Висновки до розділу 3

1. Встановлено, що інтенсивність укорінення стеблових живців ялини колючої форми блакитної достовірно залежить від концентрації ауксинів та тривалості їх дії, причому визначальним є їх взаємодія, що підтверджено результатами дисперсійного аналізу.

2. Виявлено чітку закономірність між концентрацією за тривалістю замочування: низькі концентрації стимулюють ризогенез за тривалого замочування, середні концентрації забезпечують стабільний ефект, тоді як високі концентрації є ефективними лише за короткочасної дії та проявляють пригнічуючий (фітотоксичний) ефект при її продовженні.

3. Оптимальним режимом застосування індоліл-3-масляної кислоти є 150 мг/л за 6-годинного замочування, що забезпечує максимальні показники укорінення (до 28,9 %), кількості (до 9,7 шт.) та довжини коренів (до 37,6 см), що істотно перевищує контрольний варіант.

4. Нафтилоцтова кислота виявила нижчу ефективність порівняно з ІМК, однак також позитивно впливала на ризогенез; її оптимальний варіант використання (150 мг/л, 6 год) забезпечував до 24,4 % укорінених живців, тоді як перевищення часу замочування призводило до різкого пригнічення процесів коренеутворення.

5. Найвищу ефективність забезпечили препарати пролонгованої дії: Clonex Purple (до 37,8 % укорінення) та Rhizorpon 0,5 % (до 34,4 %), що істотно перевищували як контроль, так і водні розчини ІМК та НОК, підтверджуючи перевагу гелевих і порошкових форм у стимуляції ризогенезу.

РОЗДІЛ 4

ДОРОЩУВАННЯ САДИВНОГО МАТЕРІАЛУ

4.1 Відбір укорінених живців та пересаджування на дорощування

На цьому етапі здійснюється первинне сортування рослинного матеріалу, що дозволяє відокремити добре сформовані рослини з розвинутою кореневою системою від слабо розвинених або пошкоджених екземплярів. Якість такого відбору безпосередньо впливає на приживлюваність рослин після пересаджування у відкритий ґрунт та на подальший ріст садивного матеріалу.

Оцінювання укорінених живців проводили наприкінці періоду укорінення після завершення процесу утворення адвентивних коренів. На цей момент у більшості живців уже сформувалася первинна коренева система, яка забезпечувала здатність рослини до самостійного водопостачання та мінерального живлення. Саме такі рослини вважали потенційно придатними для подальшого вирощування, рис. 4.1.

Для дорощування відбирали лише ті живці, які характеризувалися задовільним фізіологічним станом і достатнім розвитком кореневої системи. У процесі відбору особливу увагу звертали на загальний вигляд рослини, стан хвої, міцність пагона та ступінь розвитку коренів. Укорінені живці повинні були мати здорову, інтенсивно забарвлену хвою без ознак пожовтіння, підсихання або ураження хворобами. Надземна частина рослини повинна була зберігати природний тургор, що свідчить про нормальне функціонування водного обміну.

Важливим критерієм придатності живців до пересаджування слугує розвиток кореневої системи. До дорощування відбиралися живці, в яких сформувалося декілька коренів першого порядку. Сформовані корені характеризувалися світло-коричневим забарвленням, пружністю та ознак загнивання. Наявність хоча б кількох коренів довжиною 10-15 сантиметрів свідчила про успішне завершення процесу ризогенезу та забезпечувала можливість рослини адаптуватися після пересаджування.



Рис. 4.1. Рослини відібрані на дорощування

Не менш важливим показником була рівномірність розміщення коренів. Більш життєздатними вважалися ті рослини, у яких корені формувалися не з одного боку, а по периметру ранової поверхні, утворюючи більш збалансовану кореневу систему. Така особливість забезпечувала кращу фіксацію рослини в ґрунті та ефективніше засвоєння води й поживних речовин.

Під час відбору також брали до уваги морфологічний стан пагона. Живці повинні зберігати типову для виду форму та мати добре виражену верхівкову бруньку. Наявність живої верхівкової бруньки є важливою передумовою подальшого росту рослини та формування нового приросту в наступному вегетаційному періоді.

Живці зі слабкою кореневою системою, поодинокими короткими корінцями або ознаками фізіологічного пригнічення для подальшого

дорощування не відбирали. Також виключали екземпляри з механічними пошкодженнями, деформаціями пагона, ознаками грибкових уражень або підсиханням хвої. Такі рослини характеризуються низькою приживлюваністю після пересаджування та значно відстають у рості.

Для подальшого дорощування відбирали вкорінені живці, оброблені стимуляторами Clonex Green, Clonex Purple, Rhizopon 0,25, Rhizopon 0,5, ІМК (1000 мг/л) та НОК (1000 мг/л), оскільки вони характеризувалися найвищими біометричними показниками.

Відібрані укорінені живці використовували для подальшого етапу вирощування – дорощування у відкритому ґрунті. Пересаджування проводили після встановлення стабільної плюсової температури повітря та достатнього прогрівання ґрунту. Дані умови формуються на початку квітня (5-10 квітня), коли зникає загроза сильних зворотних морозів, а ґрунт стає придатним для обробітки. Вибір саме такого періоду дозволяє мінімізувати стрес для рослин і створити сприятливі передумови для їх подальшого росту.

Перед проведенням пересаджування здійснювали підготовку укорінених живців. Насамперед рослини обережно вилучали із субстрату, у якому відбувався процес укорінення. Цю операцію виконували максимально обережно, щоб уникнути пошкодження молодих коренів, які на цьому етапі ще відзначаються крихкістю та підвищеною чутливістю до механічного впливу. Живці виймали разом із невеликою кількістю субстрату, що залишався на коренях і певною мірою захищав їх від травмування.

Перед висаджуванням у відкритий ґрунт рослини тимчасово розміщували у затіненому місці, щоб уникнути прямого сонячного опромінення. Такий захід дозволяв зменшити транспіраційні втрати вологи та запобігти зневодненню хвої. Особливо це важливо для хвойних вкорінених живців, у яких площа асиміляційної поверхні є значною, а коренева система ще не здатна повністю компенсувати втрати води.

Перед пересаджуванням проводили зволоження кореневої системи водою. Це дозволяло підтримувати оптимальний водний режим тканин рослини

та сприяло кращому контакту коренів із ґрунтом після висаджування. Крім того, вологі корені менш схильні до механічних пошкоджень під час роботи з садивним матеріалом.

Сам процес пересаджування здійснювали вручну. У підготовленому ґрунті формували садивні лунки відповідного розміру, які забезпечували вільне розміщення кореневої системи. Пересаджування проводили в першій декаді квітня. Вкорінені живці встановлювали вертикально, після чого корені рівномірно розміщували у ґрунті та обережно присипали землею. Після заповнення лунки ґрунт навколо рослини злегка ущільнювали для усунення повітряних порожнин і забезпечення кращого контакту коренів із ґрунтовым середовищем.

Завершальним етапом пересаджування був полив рослин. Після висаджування ґрунт добре зволожували, що сприяло осіданню ґрунту та щільнішому прилягання його до коренів. Достатня кількість вологи у цей період є необхідною умовою для успішного приживлення рослин.

4.2 Підготовка ґрунту до висаджування

Удобрення ґрунту здійснювали до початку пересаджування рослин, у процесі передсадивної підготовки ділянки. Основною метою внесення добрив було підвищення вмісту поживних елементів у ґрунті, покращення його структури, а також створення сприятливих умов для активного росту молодих рослин у перший період після пересаджування.

Особливо важливим це є для хвойних порід, оскільки в перші роки вирощування їх коренева система формується відносно повільно, а тому рослини потребують доступних форм поживних речовин у верхньому шарі ґрунту [87].

Для підвищення родючості ґрунту застосовували органічні та мінеральні добрива. Використання органічних добрив сприяє поліпшенню структури ґрунту, підвищенню його вологості та активізації мікробіологічних

процесів. Крім того, органічні речовини є важливим джерелом поживних елементів, які поступово мінералізуються і стають доступними для рослин.

Під час підготовки ділянки до висаджування укорінених живців у ґрунт вносили органічне добриво – компост, до складу якого входить опале листя, скошена трава, подрібнені рослинні рештки, солома. У процесі мікробіологічної трансформації ці компоненти поступово перетворюються на стабільну гумусоподібну масу, багату на поживні елементи. Внесення компосту до ґрунту сприяє підвищенню вмісту органічної речовини, активізації ґрунтової мікрофлори та покращенню структури ґрунту. Завдяки цьому підвищується його водоутримувальна здатність, покращується аерація та створюються більш сприятливі умови для розвитку кореневої системи рослин. Особливо важливим є те, що поживні елементи, які містяться в компості, вивільняються поступово, забезпечуючи рослини живленням упродовж тривалого часу без ризику різкого підвищення концентрації солей у ґрунтовому розчині. Компост вносили 3–5 кг/м².

Органічні добрива рівномірно розподіляли по поверхні ґрунту, після чого їх загортали у верхній шар під час перекопування ділянки. Такий агротехнічний прийом також покращував структуру ґрунту, роблячи його більш пухким і проникним для води та повітря. Добре підготовлений ґрунт забезпечує кращий контакт кореневої системи рослин із ґрунтовим середовищем і сприяє швидшому приживленню укорінених живців після пересаджування та створює сприятливі умови для розвитку кореневої системи рослин.

Поряд з органічними добривами під час підготовки ґрунту до висаджування укорінених живців застосовували мінеральні добрива. У досліді використовували нітрофоску – комплексне гранульоване мінеральне добриво, яке містить основні макроелементи живлення рослин у легкодоступній формі. Нітрофоска характеризується збалансованим складом і широко використовується у садівництві для декоративних та лісових культур.

Нітрофоску вносили під час передсадивної підготовки ділянки. Добриво рівномірно розподіляли по поверхні ґрунту, після чого загортали у верхній шар під час перекопування або розпушування ділянки.

У проведеному досліді нітрофоску застосовували у кількості 30–40 г/м², що забезпечувало достатній рівень мінерального живлення рослин без створення надмірної концентрації солей у ґрунтовому розчині.

У результаті проведених заходів формувалося сприятливе агрохімічне середовище, яке забезпечувало рослини необхідними поживними елементами протягом початкового періоду їх росту. Це, у свою чергу, сприяло активному формуванню кореневої системи, закладанню нового приросту та загальному зміцненню молодих рослин.

Безпосередньо під час садіння у кожен лунку вносили 100 г компосту, який ретельно перемішували з ґрунтом у зоні розміщення кореневої системи живців. Такий спосіб внесення забезпечував рівномірний розподіл органічної речовини у кореневмісному шарі ґрунту та створював сприятливі умови для приживлення рослин. Ділянку на якій дорощували рослини у відкритому ґрунті зображено на рис. 4.2.

Крім органічного добрива, у місця для висаджування додатково вносили мінеральне комплексне добриво – нітрофоску. У досліді в кожен садивну лунку вносили 10 г нітрофоски, після чого добриво також перемішували з ґрунтом.

Протягом вегетаційного періоду з метою забезпечення рослин необхідними поживними речовинами проводили додаткові мінеральні підживлення. У першій половині вегетаційного періоду, коли відбувається інтенсивний ріст пагонів і формування вегетативної маси рослин, застосовували комплексне мінеральне добриво – нітрофоску.

Підживлення нітрофоскою проводили двічі протягом травня – червня. Для цього готували 1 % водний розчин добрива, який отримували шляхом розчинення 100 г нітрофоски у 10 л води. Приготований розчин використовували для прикореневого підживлення рослин.

Розчин вносили безпосередньо у прикореневу зону рослин, що забезпечувало надходження елементів мінерального живлення у кореневмісний шар ґрунту. Норма витрати розчину становила 0,5–1,0 л на одну рослину, залежно від її розміру, ступеня розвитку та вологості ґрунту.



Рис. 4.2 Дорощування рослин у відкритому ґрунті

Починаючи з другої половини вегетаційного періоду (липень – вересень) характер мінерального живлення змінювали. У цей період застосування азотних добрив обмежували, оскільки надмірне надходження азоту може стимулювати пізній ріст пагонів, що небажано для хвойних рослин перед настанням зимового періоду.

З цієї причини у другій половині вегетації для підживлення використовували фосфорні та калійні добрива, які розчиняли у воді та вносили у прикореневу зону рослин під час поливу. Такі підживлення проводили три рази протягом періоду липень – вересень.

Аналіз морфометричних показників укоріненних саджанців ялини колючої форми блакитної, висвітлено в табл. 4.1., встановив, що застосування різних стимуляторів ризогенезу суттєво впливало на інтенсивність росту рослин та розвиток їхньої кореневої системи. Встановлено певні відмінності між досліджуваними варіантами за висотою рослин, довжиною кореневої системи та діаметром кореневої шийки.

Таблиця 4.1

**Морфометричні показники однорічних саджанців ялини колючої
форма блакитна вирощених в умовах відкритого ґрунту**

Варіант стимулятора	Висота рослини, см	Довжина кореневої системи, см	Діаметр кореневої шийки, см
Clonex Green	21	10	0,4
Clonex Purple	23	11	0,5
Rhizopon 0.25	21	10	0,4
Rhizopon 0.5	22	11	0,4
ІМК 1000 мг/л	22	9	0,4
НОК 1000 мг/л	20	9	0,3

Найкращі морфометричні показники отримано у варіанті із застосуванням препарату Clonex Purple. Висота рослин у цьому варіанті становила 23 см, довжина кореневої системи – 11 см, а діаметр кореневої шийки – 0,5 см. Отримані результати свідчили про високий стимулювальний вплив препарату на процеси ризогенезу та подальший ріст укоріненних рослин. Збільшений діаметр кореневої шийки характеризував формування більш міцних і життєздатних саджанців.

Достатньо високі показники також відзначено у варіанті Rhizopon 0.5, де висота рослин досягала 22 см, а довжина кореневої системи – 11 см. При цьому діаметр кореневої шийки становив 0,4 см. Отримані дані свідчили про позитивний вплив препарату на розвиток кореневої системи та активізацію ростових процесів.

У варіантах Clonex Green та Rhizopon 0.25 спостерігалися однакові морфометричні показники. Висота рослин у цих варіантах становила 21 см, довжина кореневої системи – 10 см, а діаметр кореневої шийки – 0,4 см. Це характеризувало середній рівень ефективності препаратів щодо стимуляції росту та розвитку укорінених живців.

У варіанті із застосуванням ІМК 1000 мг/л висота рослин становила 22 см, однак довжина кореневої системи була меншою – 9 см, при діаметрі кореневої шийки 0,4 см. Це могло свідчити про менш виражений вплив препарату на розвиток підземної частини рослин порівняно з іншими стимуляторами.

Найнижчі морфометричні показники встановлено у варіанті з використанням НОК 1000 мг/л. Висота рослин становила 20 см, довжина кореневої системи – 9 см, а діаметр кореневої шийки – лише 0,3 см. Такі результати свідчили про найменшу ефективність цього препарату щодо стимуляції ростових процесів і формування розвиненої кореневої системи.

Оцінювання якості саджанців першого року дорощування проводили відповідно до вимог ДСТУ 8490:2015, що регламентує показники стандартності та розвитку рослин із відкритою кореневою системою.

Наведені в табл. 4.1 результати свідчать про чітко виражену залежність виходу стандартних саджанців від застосованого стимулятора ризогенезу, що простежувалася як у межах окремих років досліджень, так і за середніми значеннями за 2025–2026 рр.

Найвищі показники отримано у варіанті із застосуванням препарату Clonex Purple, де вихід стандартних саджанців становив стабільні 100% упродовж обох років досліджень. Така відповідність стандарту садивного матеріалу свідчить про високу ефективність препарату не лише на етапі укорінення, а й у подальшому формуванні морфологічно повноцінних рослин із добре розвиненою надземною частиною та кореневою системою.

Таблиця 4.2

Вихід стандартних саджанців за ДСТУ 8490:2015 у відкритому ґрунті

Варіант стимулятора	2025,%	2026,%	Середнє за 2025-2026, %
Clonex Green	90	100	95
Clonex Purple	100	100	100
Rhizopon 0,25	90	90	90
Rhizopon 0,5	100	90	95
ІМК 1000 мг/л	90	80	85
НОК 1000 мг/л	80	80	80

Дещо нижчі, проте також високі результати зафіксовано у варіантах із застосуванням препаратів Clonex Green та Rhizopon 0,5, де середній вихід стандартних саджанців становив по 95%. При цьому для Clonex Green характерне підвищення показника з 90% у 2025 році до 100% у 2026 році. У варіанті Rhizopon 0,5, навпаки, відмічено зниження з 100% до 90%, однак середнє значення залишається на високому рівні, що підтверджує доцільність використання даної концентрації.

Варіант із застосуванням препарату Rhizopon 0,25 характеризувався стабільним, але дещо нижчим рівнем стандартності – 90% в обидва роки досліджень. Це свідчить про достатню ефективність препарату, однак його дія виявилася менш результативною порівняно з вищою концентрацією діючої речовини у препараті Rhizopon 0,5, що узгоджується із загальною тенденцією посилення ефекту при оптимізації дози ауксину.

Помітно нижчі показники встановлено у варіантах із застосуванням ІМК у концентрації 1000 мг/л та НОК 1000 мг/л. Зокрема, у варіанті з ІМК вихід стандартних саджанців знизився з 90% у 2025 році до 80% у 2026 році, а середнє значення становило 85%. Найнижчі результати отримано при застосуванні НОК, де вихід стандартних саджанців був однаковим у обидва роки – 80%, що свідчить про обмежену ефективність даного стимулятора у формуванні якісного садивного матеріалу.

Узагальнюючи, встановлено, що застосування гелевих препаратів типу Clonex, особливо Clonex Purple, забезпечує максимальний вихід стандартних

саджанців відповідно до вимог ДСТУ 8490:2015. Препарати Rhizopon також демонструють високі результати, тоді як використання ІМК та НОК у досліджуваних концентраціях виявилося менш ефективним. Отримані дані підтверджують доцільність підбору не лише типу стимулятора, але й його концентрації з метою підвищення якості садивного матеріалу *Picea pungens* f. *glauca* що простежується на етапі дорощування.

4.3 Застосування поливу, притінювальної сітки та мульчування для підтримання оптимального мікроклімату

Після висаджування укорінених живців у відкритий ґрунт проводили первинний полив, який забезпечував ущільнення ґрунту навколо кореневої системи та усунення можливих повітряних порожнин у місці висаджування. Такий полив сприяв кращому контакту коренів із ґрунтовим середовищем та створював сприятливі умови для поглинання рослинами води і поживних речовин.

Зрошення здійснювали переважно у ранкові або вечірні години, коли температура повітря є нижчою, а інтенсивність випаровування вологи з поверхні ґрунту значно менша. Це сприяло більш ефективному використанню води та дозволяло підтримувати оптимальний рівень вологості у кореневмісному шарі ґрунту.

Частота поливів залежала від погодних умов та природного зволоження. У періоди тривалої відсутності опадів і підвищених температур повітря поливи проводили частіше, щоб запобігти пересиханню верхнього шару ґрунту. Натомість у періоди достатньої кількості атмосферних опадів потреба у додатковому зволоженні зменшувалася.

Особливу увагу приділяли підтриманню помірної вологості ґрунту у перші тижні після пересаджування укорінених живців. У цей період рослини проходять етап адаптації до нових умов вирощування, а їх коренева система ще недостатньо розгалужена. Тому навіть короточасне пересихання ґрунту може негативно позначатися на стані рослин та призводити до пригнічення їх росту.

Намагалися уникати перезволоження ґрунту, оскільки застій води може погіршувати аерацію ґрунту та негативно впливати на функціонування кореневої системи хвойних рослин. Оптимальне поєднання достатньої вологості та доброї аерації ґрунту створює найбільш сприятливі умови для розвитку коренів і подальшого росту рослин.

Таким чином, проведення своєчасних поливів дозволяло підтримувати оптимальний водний режим ґрунту під час дорощування укорінених живців ялини колючої форми блакитної. Це сприяло кращому приживленню рослин після пересаджування, активному розвитку їх кореневої системи та формуванню життєздатного садивного матеріалу.

Важливим агротехнічним заходом у процесі дорощування укорінених живців хвойних рослин у відкритому ґрунті також є регулювання світлового режиму, зокрема застосування притінення у перший період після пересаджування. Молоді рослини ялини колючої форми блакитної після перенесення з умов укорінення до відкритого ґрунту часто перебувають у стані фізіологічного стресу, оскільки їх коренева система ще недостатньо розвинена і не може повністю компенсувати втрати вологи, що відбуваються через транспірацію. За умов інтенсивного сонячного опромінення та підвищених температур повітря це може призводити до підсушування хвої, зниження тургору тканин і загального пригнічення росту рослин.

Для створення притінення над ділянкою вирощування встановлювали каркас із металевих дуг, на які встановлювали притінювальну полімерну сітку, сітку розміщували на висоті 0,8–1,2 м над поверхнею ґрунту. Такі конструкції дозволяли забезпечити рівномірне розсіювання сонячного світла та водночас не перешкоджало вільній циркуляції повітря. Розсіяне освітлення є більш сприятливим для молодих рослин хвойних порід, оскільки воно зменшує ризик перегрівання хвої та ґрунту.

Притінення застосовували у перші тижні після пересаджування рослин у відкритий ґрунт, коли процес їх адаптації до нових умов середовища є

найбільш інтенсивним. У міру зміцнення рослин і розвитку їх кореневої системи потреба у притіненні поступово зменшується.

З метою покращення умов росту рослин поверхню ґрунту після висаджування укорінених живців мульчували органічним матеріалом. Як мульчувальний матеріал використовували подрібнену кору хвойних порід, яка широко застосовується у декоративному садівництві та вирощуванні хвойних культур.

Подрібнену кору рівномірно розподіляли по поверхні ґрунту навколо рослин, формуючи мульчувальний шар товщиною 2 см. Така товщина шару забезпечує ефективне зменшення випаровування вологи з поверхні ґрунту, а також перешкоджає утворенню ґрунтової кірки після опадів або поливу. Завдяки цьому покращується аерація верхнього шару ґрунту, що сприяє нормальному функціонуванню кореневої системи молодих рослин.

Ще однією важливою перевагою застосування мульчі є обмеження розвитку бур'янів.

4.4 Дорощування укорінених живців ялини колючої форма блакитна у закритому ґрунті

Поряд із дорощуванням укорінених живців у відкритому ґрунті в досліді також проводили дорощування частини рослин у закритому ґрунті, що дозволяло створити більш стабільні та контрольовані умови середовища у початковий період після пересаджування.

Пересаджування укорінених живців у закритий ґрунт проводили у першій декаді квітня, при настанні оптимальних температур. На момент пересаджування живці мали сформовану кореневу систему з наявністю кількох адвентивних коренів довжиною 10–20 см та характеризувалися задовільним фізіологічним станом.

Для дорощування використовували пластикові контейнери об'ємом 1 л. Наявність дренажних отворів забезпечувала відведення надлишкової води та запобігала застою вологи у прикореневій зоні.

Контейнери розміщували на стаціонарних тепличних столах, піднятих на висоту 0,7–0,8 м над поверхнею ґрунту, що забезпечувало зручність догляду за рослинами та покращувало циркуляцію повітря. Розміщення контейнерів здійснювали за стрічковою схемою з відстанню між контейнерами 5–7 см. Густота розміщення становила в середньому 10–15 рослин на 1 м² площі теплиці, залежно від розміру контейнерів.

Як субстрат у досліді використовували суміш дернової землі, піску та компосту у співвідношенні 2:1:1. Перед використанням компоненти ретельно перемішували до однорідного стану. Отриманий субстрат характеризувався достатньою пухкістю, доброю водопроникністю та повітропроникністю, що є необхідним для нормального функціонування кореневої системи хвойних рослин. Перед висаджуванням субстрат зволожували до стану помірної вологості.

Висаджування укорінених живців у контейнери проводили вручну. Кореневу систему обережно розміщували у субстраті, рівномірно розправляючи корені та не допускаючи їх загинання. Глибину садіння регулювали таким чином, щоб коренева шийка знаходилася на рівні поверхні субстрату. Після висаджування субстрат навколо рослини злегка ущільнювали.

Після пересаджування проводили полив, який забезпечував осідання субстрату та щільний контакт його з кореневою системою. У подальшому поливи здійснювали з урахуванням температурного режиму та стану субстрату, підтримуючи його у зволоженому, але не перезволоженому стані.

Дорощування проводили у плівковій теплиці. У перший період після пересаджування (квітень – травень) температура повітря у денний час становила 18–22 °С, у нічний 12–15 °С. У літній період (червень – липень) температура у теплиці підвищувалася до 28–32 °С у денний час. Для запобігання перегріванню рослин проводили регулярне провітрювання шляхом відкривання бокових і верхніх вентиляційних отворів.

У перші 2–3 тижні після пересаджування підтримували підвищену відносну вологість повітря (70–80 %), що досягалося шляхом

дрібнодисперсного зрошення (туманоутворення) рослин водою через кожні 30 хвилин на 15-20 секунд. У подальшому, у міру адаптації рослин, вологість повітря знижували до 60–70 % шляхом посилення провітрювання.

У періоди інтенсивного сонячного опромінення теплицю додатково притінювали за допомогою полімерної притінювальної сітки, яку розміщували над рослинами.

Безпосередньо під час висаджування укорінених живців мінеральні добрива у субстрат не вносили, що було пов'язано з необхідністю уникнення підвищеної концентрації солей у обмеженому об'ємі субстрату контейнерів. Крім того, використаний субстрат містив достатню кількість поживних речовин органічного походження, що забезпечувало потреби рослин у початковий період після пересаджування. Підживлення розпочинали через 2–3 тижні після пересаджування (травень) нітрофоскою у концентрації 0,5 % у вигляді водного розчину. У подальшому застосовували фосфорно-калійні добрива у вигляді водних розчинів, які вносили у прикореневу зону рослин під час поливу. Підживлення проводили протягом липня – серпня з інтервалом 2–3 тижні. Починаючи з початку вересня внесення добрив припиняли з метою забезпечення своєчасного завершення ростових процесів та підготовки рослин до періоду спокою.

Важливим етапом дорощування було поступове загартування рослин. Починаючи з кінця травня, тривалість провітрювання теплиці поступово збільшували. У подальшому рослини поступово адаптували до умов зовнішнього середовища шляхом зменшення притінення та зниження вологості повітря.

У результаті дорощування укорінених живців у закритому ґрунті було сформовано життєздатний садивний матеріал із добре розвиненою кореневою системою та надземною частиною. Рослини характеризувалися рівномірним ростом, збереженням інтенсивного забарвлення хвої та задовільним загальним станом.

Візуальна оцінка морфологічного стану однорічних рослин, вирощених у контейнерах, підтвердила ефективність застосованих агротехнічних заходів, що зображено на рис. 4.3.



Рисунок 4.3 Однорічний саджанець ялини колючої форми блакитної, вирощений у контейнері

Аналіз морфометричних показників укорінених саджанців ялини колючої форми блакитної засвідчив, що застосування різних стимуляторів ризогенезу по-різному впливало на ріст надземної та підземної частин рослин. Отримані результати висвітлено в табл. 4.3 та свідчать про залежність біометричних параметрів саджанців від типу використаного препарату.

Найвищі показники росту встановлено у варіанті із застосуванням препарату Clonex Purple. Висота рослин у цьому варіанті становила 25 см, довжина кореневої системи – 12 см, а діаметр кореневої шийки – 0,6 см.

Отримані дані вказують на позитивний вплив препарату не лише на процес утворення коренів, а й на подальший розвиток укорінених рослин. Збільшення діаметра кореневої шийки свідчило про формування більш розвинених і життєздатних саджанців.

Таблиця 4.3

**Морфометричні показники однорічних саджанців ялини колючої
форми блакитної вирощених в умовах закритого ґрунту**

Варіант стимулятора	Висота рослини, см	Довжина кореневої системи, см	Діаметр кореневої шийки, см
Clonex Green	23	10	0,5
Clonex Purple	25	12	0,6
Rhizopon 0.25	22	10	0,4
Rhizopon 0.5	24	11	0,5
ІМК 1000 мг/л	23	10	0,5
НОК 1000 мг/л	22	9	0,4

Дещо нижчі, проте також високі морфометричні показники відзначено у варіанті з використанням препарату Rhizopon 0.5. Висота рослин становила 24 см, довжина кореневої системи – 11 см, а діаметр кореневої шийки – 0,5 см. Це свідчило про достатньо ефективний вплив препарату на активізацію ростових процесів та формування добре розвиненої кореневої системи.

У варіантах Clonex Green та ІМК 1000 мг/л спостерігалися однакові морфометричні показники. Висота рослин у цих варіантах становила 23 см, довжина кореневої системи – 10 см, а діаметр кореневої шийки – 0,5 см. Отримані результати свідчили про середній рівень стимуляції ростових процесів та достатній розвиток підземної частини рослин.

Найнижчі показники встановлено у варіантах із застосуванням Rhizopon 0.25 та НОК 1000 мг/л. Висота рослин у зазначених варіантах становила 22 см, діаметр кореневої шийки – 0,4 см, тоді як довжина кореневої системи була відповідно 10 та 9 см. Менші значення біометричних параметрів могли

свідчити про слабший стимулювальний вплив препаратів на процеси коренеутворення та подальший ріст саджанців.

На наступний рік, у квітні, укорінені рослини пересаджували з контейнерів меншого об'єму у контейнери місткістю 5 л. Під час пересаджування застосовували мінеральне добриво: 20 г нітрофоски ретельно перемішували з ґрунтосумішшю (у розрахунку на 10 л субстрату). Отриманою сумішшю заповнювали простір між кореневою грудкою живця та стінками контейнера. У подальшому протягом вегетаційного періоду додаткові підживлення не проводили.

Візуальна оцінка морфологічного стану дворічних рослин зображена на рис. 4.4.

Оцінювання якості саджанців першого року дорощування проводили відповідно до вимог ДСТУ 8094:2015, що регламентує показники стандартності та розвитку рослин із закритою кореневою системою.



Рис. 4.4 Дворічний саджанець ялини колючої форми блакитної, вирощений у горщику

Наведені в табл. 4.4 результати свідчать про чітко виражену залежність виходу стандартних саджанців від застосованого стимулятора ризогенезу, що простежувалася як у межах окремих років досліджень, так і за середніми значеннями за 2025–2026 рр.

Найвищу відповідність стандарту садивного матеріалу забезпечили препарати Clonex Green, Clonex Purple та Rhizopon 0,5, у яких вихід стандартних саджанців становив 100% як у 2025, так і у 2026 році, із відповідним середнім значенням також на рівні 100%. Такий результат вказує на повну відповідність сформованих рослин вимогам ДСТУ 8094:2015 щодо морфологічних показників та розвитку кореневої системи. Особливо важливо, що ці варіанти характеризувалися абсолютною стабільністю показників

незалежно від умов року, що свідчить про їхню високу технологічну надійність у практиці вирощування садивного матеріалу.

Таблиця 4.4

Вихід стандартних саджанців за ДСТУ 8094:2015 у закритому ґрунті

Варіант стимулятора	2025, %	2026, %	Середнє за 2025-2026, %
Clonex Green	100	100	100
Clonex Purple	100	100	100
Rhizopon 0,25	90	100	95
Rhizopon 0,5	100	100	100
ІМК 1000 мг/л	90	90	90
НОК 1000 мг/л	80	90	85

У варіанті із застосуванням Rhizopon 0,25 встановлено дещо нижчі, проте достатньо високі показники: у 2025 році вихід стандартних саджанців становив 90%, тоді як у 2026 році він зріс до 100%, що забезпечило середнє значення на рівні 95%.

Середній рівень ефективності продемонстрував варіант із використанням ІМК у концентрації 1000 мг/л, де показники залишалися незмінними в обидва роки – на рівні 90%. Це свідчить про стабільний, але не максимальний вплив препарату на формування стандартних саджанців.

Найнижчі показники зафіксовано у варіанті із застосуванням НОК (1000 мг/л), де вихід стандартних саджанців становив 80% у 2025 році та зріс до 90% у 2026 році, із середнім значенням 85%. Попри певне покращення у другий рік досліджень, цей варіант поступався всім іншим за рівнем стандартності.

Порівняльний аналіз результатів дорощування саджанців у відкритому та закритому ґрунті свідчить про більш високу ефективність саме умов закритого ґрунту. Це підтверджується як рівнем виходу стандартних рослин, так і стабільністю отриманих показників упродовж років досліджень.

Передусім встановлено, що в умовах закритого ґрунту більша кількість варіантів забезпечила максимальний (100%) вихід стандартних саджанців.

Зокрема, окрім Clonex Purple, аналогічно високі результати продемонстрували також Clonex Green та Rhizopon 0,5. Натомість у відкритому ґрунті абсолютний показник (100%) був характерний лише для Clonex Purple, тоді як інші варіанти мали певні коливання або зниження ефективності. Це свідчить про те, що в закритому ґрунті реалізація потенціалу стимуляторів ризогенезу відбувається повніше.

Важливою особливістю дорощування у закритому ґрунті є також вища стабільність результатів. У більшості варіантів показники або залишалися незмінними, або покращувалися (наприклад, Rhizopon 0,25: з 90% до 100%). У відкритому ґрунті, навпаки, спостерігалися коливання показників у різні роки, що чітко простежується на прикладі Clonex Green та Rhizopon 0,5. Така варіабельність безпосередньо пов'язана з впливом погодно-кліматичних чинників, які в польових умовах не підлягають регулюванню.

Переваги закритого ґрунту зумовлені, насамперед, можливістю контролю основних факторів середовища – температурного режиму, вологості повітря і субстрату, а також захисту рослин від різких коливань погодних умов. Це створює оптимальні умови для росту та розвитку кореневої системи, що, у свою чергу, забезпечує формування морфологічно повноцінних саджанців, які відповідають вимогам стандарту. У відкритому ґрунті рослини зазнають впливу стресових факторів (перепади температур, дефіцит або надлишок вологи, вітрове навантаження), що негативно відображається на процесах росту і може знижувати частку стандартних рослин.

Таким чином, дорощування укорінених живців ялини колючої форми блакитної у закритому ґрунті забезпечувало формування сприятливого мікроклімату, що сприяло активному розвитку кореневої системи та формуванню якісного садивного матеріалу.

Висновок до розділу 4

1. Встановлено, що оптимальним строком пересаджування укорінених живців ялини колючої форми блакитної як у відкритий, так і у закритий ґрунт слід вважати першу декада квітня, коли рослини мають сформовану кореневу систему та перебувають у задовільному фізіологічному стані.

2. Встановлено, що у першій половині вегетаційного періоду (травень–червень) ефективним є застосування азотовмісних комплексних добрив (нітрофоска) у вигляді водних розчинів, що сприяє інтенсивному росту надземної частини рослин.

3. Визначено, що у другій половині вегетаційного періоду (липень – серпень) доцільним є застосування фосфорно-калійних добрив 2–3 рази з інтервалом 2–3 тижні, з повним припиненням підживлення на початку вересня, що забезпечує визрівання пагонів і підвищує стійкість рослин до несприятливих умов.

4. Показано, що дорощування укорінених живців у закритому ґрунті (квітень – серпень) із використанням контейнерів, контрольованого температурного режиму (18–25 °C) та регульованої вологості сприяє формуванню добре розвиненої кореневої системи і вирівняного садивного матеріалу, що підтверджено морфологічною оцінкою дворічних рослин.

РОЗДІЛ 5

ЗАСТОСУВАННЯ *PICEA PUNGENS F. GLAUCA* В ОЗЕЛЕНЕННІ

5.1 Використання *Picea pungens f. glauca* в озелененні

З метою практичної реалізації результатів досліджень, нами розроблено проектну пропозицію репрезентативної ландшафтної групи кругового огляду (Рис. 5.1).

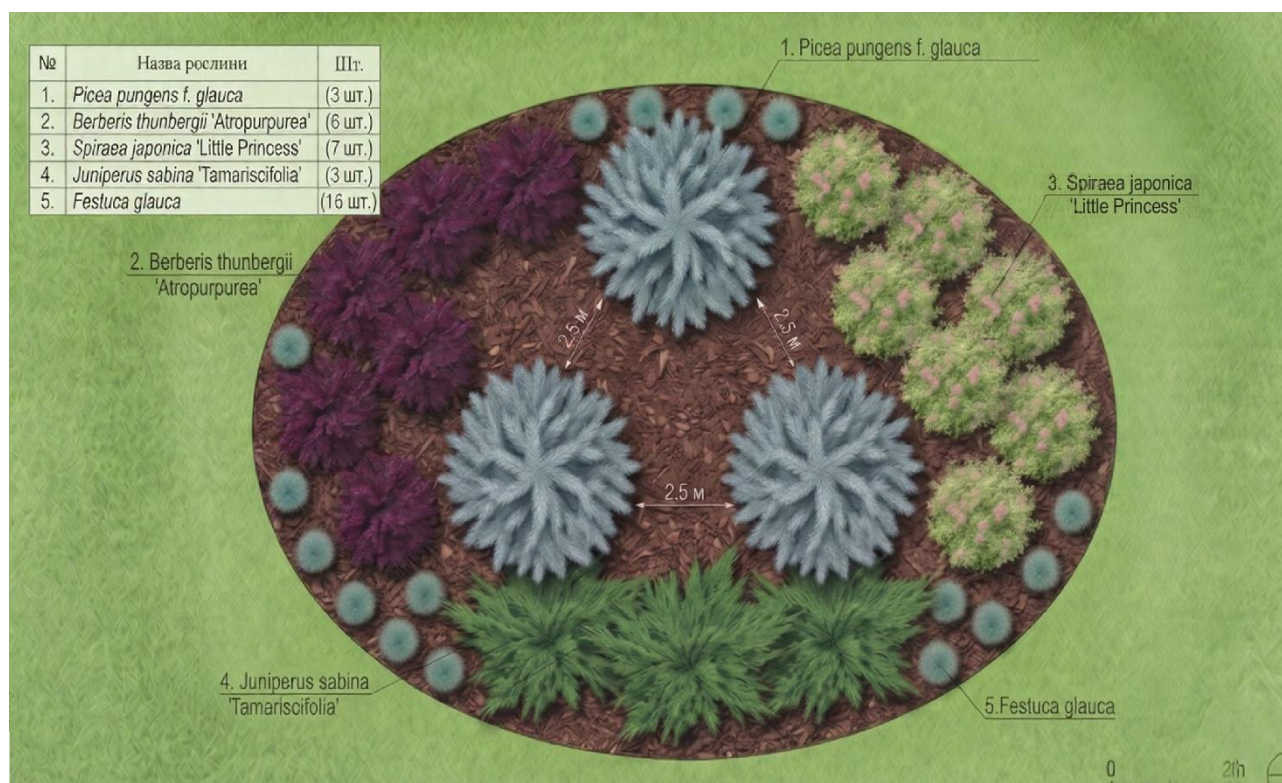


Рис. 5.1 Схема ландшафтної композиції з домінуванням ялини колючої форми блакитної (план розміщення рослин та асортимент)

Дана композиція призначена для озеленення відкритих паркових партерів, формування вхідних зон адміністративних або навчальних закладів, а також для акцентування уваги на розв'язках паркових алеї в умовах Правобережного Лісостепу України.

Композиційна структура насадження побудована на глибокому колористичному та фактурному контрасті, де домінуюча строгість блакитних ялин підкреслюється пластичними формами декоративних чагарників та

злакових трав. Загальна площа композиції, яка формується на тлі доглянутого зеленого газону у вигляді неправильного овалу, становить 30 м².

Домінантним ядром композиції виступають три екземпляри ялини колючої форми блакитної, висаджені у формі рівностороннього трикутника з кроком 2,5 метра. Використання саме трьох ялинок гарантує ідеальну симетрію центру композиції. У міру зростання ялинки формуватимуть єдиний, потужний сріблясто-блакитний масив, який добре проглядатиметься з будь-якої точки огляду.

Для підсилення декоративного ефекту блакитної хвої, середній план композиції формується за рахунок використання листяних чагарників із контрастним забарвленням та різною текстурою листя. З одного боку від доміантного ядра асиметричною дугою висаджується група з шести кущів барбарису Тунберга (*Berberis thunbergii* 'Atropurpurea'). Насичений пурпуровий колір його листя створює найбільш виразний, класичний колірний контраст із холодною гаммою хвої ялини. З протилежного боку розміщується масив із семи кущів спіреї японської (*Spiraea japonica* 'Little Princess'). Її дрібне, світло-зелене листя та рясне рожеве цвітіння у літній період пом'якшують строгість хвойних порід, додаючи композиції легкості та динаміки.

Нижній ярус та фонову основу створює група з трьох екземплярів ялівцю козацького (*Juniperus sabina* 'Tamariscifolia'). Висаджені на передньому плані з найширшого боку огляду, вони формують щільний вічнозелений сизо-зелений килим. Розлогі гілки ялівцю з часом візуально «заземлюють» високі конічні крони ялин, забезпечуючи плавний перехід від вертикальних ліній до горизонтальної площини газону. Завершальним штрихом виступає обрамлення з шістнадцяти кистриць сизої (*Festuca glauca*), яка точково повторює сріблясто-блакитний відтінок головної породи на найнижчому ярусі, об'єднуючи композицію в єдине ціле.

Запропонований асортимент вирізняється високим ступенем екологічної пластичності. Усі підібрані види, включаючи головну породу – *Picea pungens* f. *glauca*, характеризуються високою посухостійкістю та зимостійкістю, що

робить дану композицію оптимальною для кліматичних умов Правобережного Лісостепу. Для оптимізації водно-повітряного режиму ґрунту та зменшення витрат на догляд (прополювання), проектом передбачено обов'язкове мульчування відкритого ґрунту всередині групи сосною корою фракції 3-5 см.

Надзвичайно важливою характеристикою розробленої композиції є її всесезонна декоративність. Навесні акцент робиться на контрасті молодого, яскраво-блакитного приросту ялин із розпусканням свіжого листа чагарників. Влітку декоративність підтримується цвітінням спіреї. В осінній період композиція досягає піку колористичної напруги: спірея набуває вогняно-жовтих і червоних відтінків, листа барбарису стає насичено-карміновим, що максимально відтіняє холодний колір хвої. У зимовий період структуру насадження тримають вічнозелені ялини та ялівці, створюючи виразний об'ємний малюнок на тлі снігового покриву.

Таким чином, розроблена нами проектна пропозиція наочно демонструє високий потенціал використання вегетативно розмножених саджанців *Picea pungens* f. *glauca* у сучасному ландшафтному дизайні, що дозволяє створювати стійкі, довговічні та високодекоративні урбанізовані простори.

Для розширення практичних аспектів використання *Picea pungens* f. *glauca* у ландшафтному дизайні доцільним є також застосування даного виду в алейних насадженнях. Як показано на рис. 5.2, у місті Ладижин Вінницької області регулярне розміщення рослин уздовж пішохідних доріжок дозволило сформувати виразний просторовий коридор із чітко окресленою перспективою.

Використання *Picea pungens* f. *glauca* у такому типі насаджень забезпечує високий декоративний ефект протягом усього року за рахунок стабільного сріблясто-блакитного забарвлення хвої та чіткої конічної форми крон. Ритмічне повторення однакових за морфологічними ознаками екземплярів підсилює візуальну глибину простору та сприяє формуванню урочистого, репрезентативного характеру території.



Рис. 5.2 Алейні насадження ялини колючої форми блакитної (м. Ладижин, Вінницька обл.)

Крім того, такі насадження можуть виконувати не лише естетичну, але й функціональну роль – зонування простору, напрямлення руху відвідувачів та підкреслення головних композиційних осей. Запропонований підхід може бути використаний як один із варіантів впровадження досліджуваного виду в структурі урбанізованих насаджень.

Додатковим прикладом ефективного використання ялини колючої форми блакитної в озелененні є її застосування у формуванні захисних та декоративних насаджень на території освітніх закладів. На рис. 5.3 представлено рядове насадження ялини колючої форми блакитної на території школи в с. Собківка Уманського району. Досліджувані рослини виконують одночасно декоративну, санітарно-гігієнічну та просторово-організаційну функції.

Насадження сформоване за принципом лінійної композиції, де дерева висаджені рядом вздовж території закладу. Такий тип розміщення забезпечує

створення чіткої архітектурно-просторової структури та підвищує естетичну виразність об'єкта озеленення протягом усього року. Завдяки правильній конічній формі крони, густому охоєнню та сріблясто-блакитному забарвленню хвої ялини колюча форма блакитна формує виразний вертикальний акцент у ландшафтній композиції навіть у зимовий період, коли декоративність більшості листяних порід суттєво знижується.



Рис 5.3 Насадження ялини колючої форми блакитної в с. Собківка

На представленому об'єкті рослини перебувають у задовільному фітосанітарному стані, характеризуються добре сформованими кронами та рівномірним приростом. Це свідчить про достатню адаптивну здатність виду до ґрунтово-кліматичних умов Правобережного Лісостепу України та його стійкість до урбанізованого середовища. Висадження ялин у ряд сприяє також формуванню захисного зеленого бар'єра, який частково знижує рівень

запиленості, послаблює дію вітру, що є особливо важливим для територій навчальних закладів. Подібне застосування ялини на території школи зображено на рис. 5.4 А також в (додатку 3).



Рис. 5.4 Застосування ялини колючої форми блакитна в с. Доброводи

Додатковим прикладом ефективного використання ялини колючої форми блакитної в озелененні є її застосування у створенні декоративних композицій на території Уманського національного університету. На рис. 5.5 представлено рядове насадження ялини колючої форми блакитної, яке поєднане із живоплотом із самшиту та використане як композиційне обрамлення пам'ятного об'єкта.

Подібне поєднання хвойних і вічнозелених декоративних рослин забезпечує високий рівень естетичної виразності насадження впродовж усього року.

У даній композиції ялина колюча форма блакитна виконує роль домінантного вертикального елемента. Високорослі дерева з чітко вираженою конічною формою крони створюють архітектурний каркас насадження та формують урочистий характер простору. Сріблясто-блакитне забарвлення хвої контрастує із насиченим зеленим кольором самшиту, завдяки чому досягається виразний декоративний ефект та підвищується візуальна глибина композиції.



Рис. 5.5 Насадження ялини колючої форма блакитна на території Уманського національного університету

Рядове висадження ялин забезпечує симетричність і просторову впорядкованість території. Використання самшиту як нижнього ярусу

озеленення сприяє підкресленню монументальності насадження та створює чітке декоративне обрамлення. Поєднання рослин різної висоти та текстури формує багаторясну структуру насадження, що є важливим принципом сучасного ландшафтного проєктування. Рядові насадження застосовують, як алейні насадження біля житлових багатоквартирних будинків рис. 5.6



Рис.5.6 Алейне насадження ялини в м. Умань

Додатковим прикладом ефективного використання *Picea pungens* f. *glauca* в озелененні є її застосування у групових композиційних насадженнях на території Уманського національного університету. На рис. 5.7 представлено групову посадку ялини колючої форми блакитної, сформовану трьома деревами та декоративно обрамлену живоплотом із самшиту.



Рис. 5.7 Групове насадження ялини колючої форма блакитна на території
Уманського національного університету

Подібний тип озеленення є характерним для адміністративних і громадських територій, де важливе поєднання декоративності, просторової виразності та довговічності насаджень.

У композиції домінуючу роль відіграють високорослі екземпляри ялини колючої форми блакитної, які формують вертикальну структуру ландшафтного простору. Групове розміщення дерев забезпечує створення єдиного декоративного масиву, що візуально підсилює монументальність насадження та сприяє формуванню завершеної архітектурно-ландшафтної композиції. Сріблясто-блакитний відтінок хвої забезпечує виразний колористичний

контраст із темно-зеленим самшитом, який виконує функцію нижнього декоративного ярусу та композиційного обрамлення.

Аналіз морфологічного стану рослин свідчить, що дерева мають сформовані стовбури та добре виражену ярусність гілок, характерну для дорослих екземплярів ялини колючої форми блакитної. Разом із тим на окремих деревах спостерігається часткове зрідження охвоєння та нерівномірність розташування скелетних гілок, що може бути наслідком вікових змін, конкуренції за світло або впливу урбанізованих умов середовища. Незважаючи на це, насадження зберігає високу декоративну цінність та виконує важливу естетичну функцію в структурі університетського озеленення.

Використання самшиту як бордюрного елемента сприяє візуальному відокремленню композиції від прилеглого мощення та підсилює її декоративний ефект. Поєднання хвойних рослин різної висоти та форми створює багаторівневу просторову структуру, що відповідає принципам сучасного ландшафтного дизайну. Такі композиції є особливо цінними для озеленення територій навчальних закладів, оскільки поєднують декоративність із екологічними функціями – покращенням мікроклімату, затриманням пилу та зниженням шумового навантаження.

Практика використання ялини колючої форми блакитної у групових посадках на території Уманського національного університету підтверджує перспективність даного таксона для створення довговічних декоративних композицій у населених пунктах Правобережного Лісостепу України.

Одним із характерних напрямів використання ялини колючої форми блакитної в системі міського озеленення є формування рядових насаджень на територіях адміністративних об'єктів. Подібні посадки широко застосовуються в умовах Правобережного Лісостепу України, зокрема в місті Умань, де вони виконують важливі композиційні, декоративні та частково екологічні функції (рис. 5.8).



Рис. 5.8 Використання ялини колючої форми блакитної у насадженнях на території адміністративної забудови (м. Умань, Черкаська обл.)

Рядове розміщення дерев забезпечує чітку просторову організацію території, формуючи виразні лінійні елементи озеленення, які підкреслюють архітектурні особливості будівель. У випадку адміністративних споруд такі насадження відіграють роль композиційного каркасу, створюючи візуальну вісь, що акцентує вхідні зони або фасади будівель. Завдяки правильній

геометрії посадки досягається ефект впорядкованості та репрезентативності, що є важливим для об'єктів офіційного призначення.

Використання ялини колючої форми блакитної у рядових насадженнях обумовлене низкою її біологічних і декоративних властивостей

Окрім естетичної функції, рядові насадження за участю цього виду можуть виконувати певні санітарно-гігієнічні та захисні ролі. Щільна крона сприяє частковому затриманню пилу, зниженню швидкості вітру на прилеглий території та створенню більш комфортного мікроклімату. Хоча ялини колюча форма блакитна не належить до найбільш стійких до урбанізованих умов хвойних порід, її використання є доцільним за умови правильного підбору місця посадки та належного догляду.

Важливою особливістю рядових посадок є підвищені вимоги до морфологічної однорідності рослин. Для досягнення вираженого декоративного ефекту необхідне використання садивного матеріалу з вирівняними показниками висоти, форми крони та інтенсивності забарвлення хвої.

Таким чином, застосування ялини колючої форми блакитної у рядових насадженнях біля адміністративних будівель не лише підкреслює її високу декоративну цінність, але й обґрунтовує практичну необхідність удосконалення технологій вегетативного розмноження цього виду. Забезпечення ринку озеленення якісним, однорідним садивним матеріалом є важливою передумовою ефективного використання цієї декоративної форми в сучасному ландшафтному будівництві.

5.2 Ландшафтно-композиційні особливості використання ялини колючої форми блакитної

У ландшафтних композиціях ялина блакитна часто використовується разом з іншими хвойними рослинами. Таке поєднання дозволяє створити декоративні групи з різноманітною фактурою, кольором та формою крон, що значно підвищує художню виразність насаджень.

Одним із найбільш гармонійних є поєднання ялини колючої форми блакитної з різними видами ялівців (*Juniperus* spp.). Особливо ефектно блакитна ялина виглядає на фоні низькорослих сланких ялівців, які утворюють щільний зелений або сизуватий килим.

Таке поєднання створює багаторясну композицію, де ялина виступає вертикальним домінуючим елементом, а ялівці формують нижній ярус насадження. Завдяки цьому підкреслюється висота дерева та його чітка конічна форма. Крім того, хвоя ялівців часто має темніший або більш насичений зелений відтінок, що створює додатковий колористичний контраст із сріблясто-блакитним забарвленням ялини.

Подібні композиції широко використовуються у кам'янистих садах, альпінаріях, декоративних групах біля адміністративних будівель, а також у сучасному міському озелененні.

Ще одним поширеним варіантом є поєднання блакитної ялини з туями (*Thuja* spp.). Туї мають щільну лускату хвою та відносно компактну форму крони, що дозволяє створювати структурні композиції з чіткою геометрією [232].

У таких насадженнях туї часто виконують роль фонового або структурного елементу. Наприклад, уздовж алеї або огорож можуть формуватися живоплоти з туї, на фоні яких висаджують окремі екземпляри *Picea pungens* f. *glauca*. Сріблясто-блакитна хвоя ялини в такому випадку яскраво виділяється на темно-зеленому фоні туї, створюючи сильний декоративний акцент.

Крім того, у композиціях можуть використовуватися різні форми туї – колоноподібні, кулясті або карликові. Поєднання різних форм крон дозволяє створювати композиції з виразною ритмікою та різноманітною просторовою структурою.

Цікавим композиційним прийомом є поєднання блакитної ялини з ялиною звичайною (*Picea abies*). Обидві породи мають подібну форму крони, однак значно відрізняються за кольором хвої.

Темно-зелена хвоя ялини звичайної створює насичений фон, на якому блакитне забарвлення *Picea pungens* f. *glauca* виглядає особливо виразно. Завдяки цьому композиція набуває глибини та колористичної контрастності.

Такі поєднання часто використовуються у великих паркових масивах або дендропарках, де формуються декоративні групи з кількох хвойних дерев. У цьому випадку блакитна ялина може розташовуватися в центральній частині композиції або на передньому плані, тоді як ялина звичайна формує задній план.

Окрім хвойних рослин, ялина колюча форма блакитна добре поєднується з багатьма листяними деревами та декоративними чагарниками. Такі композиції є особливо ефектними завдяки поєднанню різних текстур, кольорів та сезонних змін декоративності.

Клени (*Acer* spp.) є одними з найпоширеніших листяних дерев, які використовуються у поєднанні з блакитною ялиною. Їх декоративність визначається насамперед формою листків та сезонною зміною забарвлення.

У літній період зелене листя кленів створює спокійний фон для сріблясто-блакитної хвої ялини. Особливо ефектним таке поєднання стає восени, коли листя кленів набуває яскравих жовтих, помаранчевих або червоних відтінків. На цьому тлі блакитна хвоя ялини створює сильний кольоровий контраст, що значно підвищує декоративну цінність композиції.

Такі насадження часто використовуються у паркових алеях, скверах та міських зелених зонах.

Береза (*Betula* spp.) є ще одним деревом, яке гармонійно поєднується з блакитною ялиною. Її світла кора та ажурна крона створюють легкий, повітряний фон для більш масивної та щільної крони ялини.

Контраст між білою корою берези, темними гілками та сріблясто-блакитною хвоєю ялини формує виразну декоративну композицію. Крім того, береза має відносно легку та прозору крону, що дозволяє підкреслити чітку форму ялини.

Такі поєднання особливо характерні для природних стилів озеленення, лісопаркових композицій та пейзажних садів.

Важливу роль у композиціях з *Picea pungens* f. *glauca* відіграють декоративні чагарники. Вони формують середній або нижній ярус насадження, створюючи багаторівневу структуру композиції. Для таких насаджень часто використовують: барбарис (*Berberis* spp.); спірею (*Spiraea* spp.); гортензію (*Hydrangea* spp.); дерен (*Cornus* spp.) [233].

Декоративні чагарники можуть відрізнятися за кольором листя, формою крони та періодом цвітіння. Завдяки цьому композиція зберігає декоративність протягом усього вегетаційного періоду.

Однією з ключових декоративних переваг *Picea pungens* f. *glauca* є її унікальне сріблясто-блакитне забарвлення хвої. Саме ця особливість дозволяє активно використовувати її у створенні кольорових контрастів у ландшафтних композиціях. Найбільш ефектними є контрасти: блакитний – темно-зелений (у поєднанні з іншими хвойними); блакитний – жовтий або золотистий (з декоративними формами туї або листяними породами); блакитний – червоний або пурпуровий (з барбарисом або іншими декоративними чагарниками).

Такі поєднання створюють виразні декоративні ефекти та підсилюють візуальне сприйняття композиції.

При створенні ландшафтних композицій із використанням *Picea pungens* f. *glauca* важливу роль відіграють основні принципи ландшафтної архітектури, серед яких особливе значення мають домінанта, акцент та фон.

У багатьох композиціях блакитна ялина виступає домінуючим елементом. Це пояснюється її виразною формою крони, значною висотою та характерним кольором хвої.

Як домінанта, дерево розташовується у центральній частині композиції або на відкритому просторі, де воно добре проглядається з різних точок огляду. Навколо нього можуть розміщуватися нижчі дерева, чагарники або газон, що підкреслює його декоративні якості.

У деяких випадках *Picea pungens* f. *glauca* використовується як акцентна рослина. У такій ролі вона висаджується у ключових точках композиції – наприклад, біля входу до будівлі, на перехрестях алей або у центрі клумб [...].

Акцентна функція полягає у приверненні уваги до певного елементу ландшафту. Завдяки незвичайному забарвленню хвої блакитна ялина добре виконує цю роль навіть у невеликих композиціях.

Хоча найчастіше *Picea pungens* f. *glauca* виступає домінантою або акцентом, у деяких випадках вона може використовуватися і як фонові рослина. Це характерно для великих ландшафтних композицій, де кілька дерев висаджують групами, формуючи декоративний хвойний масив.

У таких насадженнях блакитні ялини створюють єдиний колористичний фон, на якому розміщуються інші декоративні рослини – квіткові культури, чагарники або невисокі дерева.

Таким чином, *Picea pungens* f. *glauca* є універсальною декоративною породою, яка може виконувати різні функції у ландшафтних композиціях – від домінуючого елементу до фонового компонента насадження. Завдяки гармонійному поєднанню з хвойними та листяними породами, а також здатності створювати виразні кольорові контрасти, ця рослина займає важливе місце у сучасному озелененні міст, парків, скверів та приватних садів.

Її використання дозволяє формувати естетично привабливі, структурно збалансовані та довговічні декоративні насадження, що зберігають високі декоративні якості протягом усього року.

5.3 Проектні пропозиції озеленення із використанням ялини колючої форми блакитної

Планування та організація зелених насаджень є важливим елементом формування естетично привабливого та екологічно збалансованого середовища присадибної території. Розроблений проект озеленення передбачає поєднання декоративних, функціональних та санітарно-гігієнічних елементів, що забезпечують гармонійне використання простору. План озеленення досліджуваної ділянки представлено на рис. 5.5.

Композиційна структура зелених насаджень сформована за рахунок поєднання центральної відкритої частини, периферійних захисних насаджень та акцентних декоративних груп.

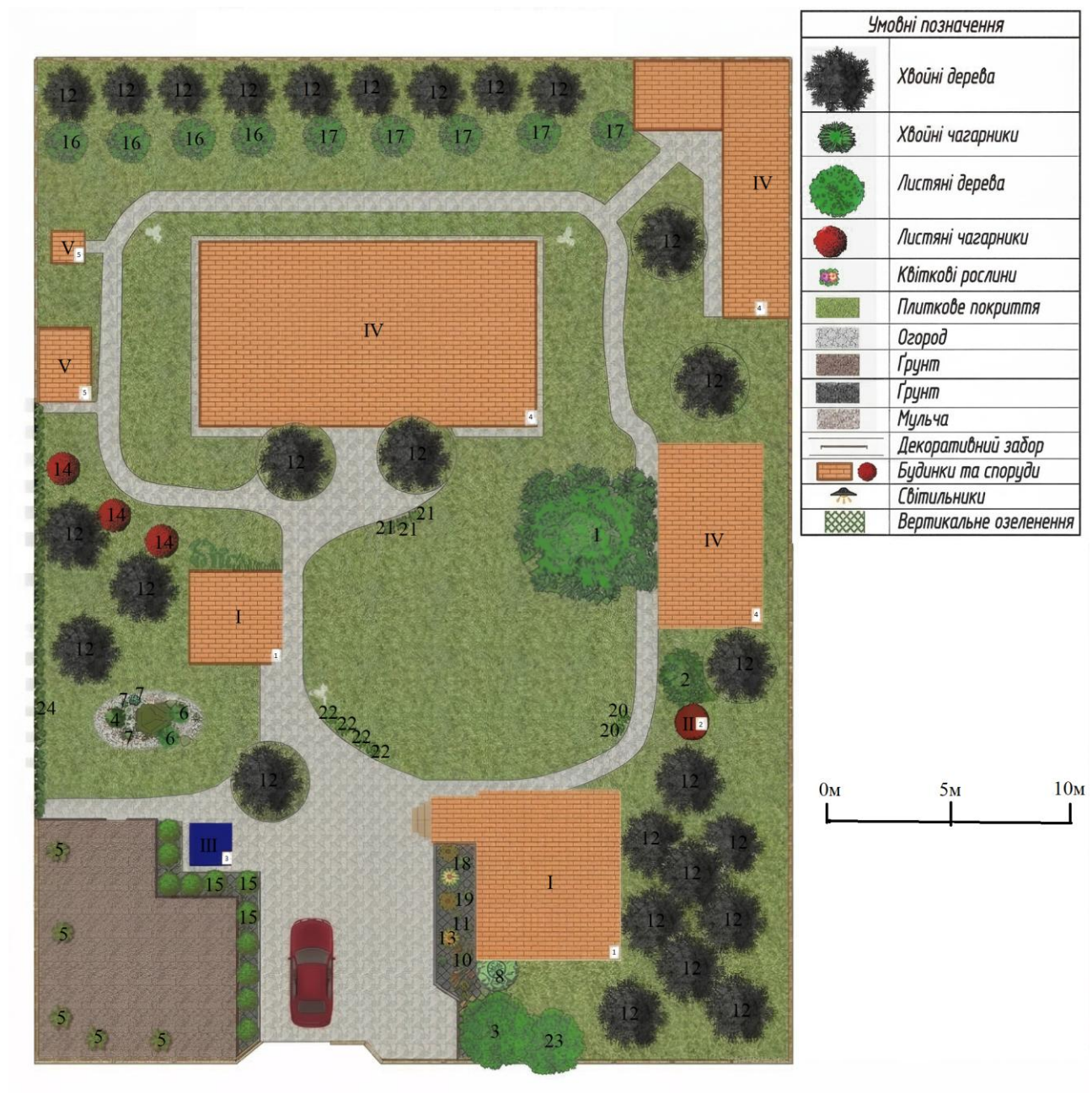


Рис. 5.9 Проект озеленення присадибної території

Центральну частину території займає відкрита газонна ділянка, яка виконує роль композиційного ядра садово-паркової структури. Газон формує основний просторовий елемент, навколо якого організовано систему пішохідних доріжок та функціональних зон. Такий прийом забезпечує візуальну цілісність композиції та створює відчуття простору і впорядкованості

території. Відкрита центральна зона також сприяє кращому освітленню ділянки та формує сприятливі умови для розвитку декоративних рослин. Периферійна частина ділянки сформована деревними та чагарниковими насадженнями, які виконують захисну та декоративну функції. Уздовж меж території передбачено створення рядових посадок дерев, що формують природний бар'єр від вітру, пилу та шуму. Крім того, такі насадження забезпечують приватність території та створюють зелене тло для центральної частини композиції. У цих посадках використано як хвойні, так і листяні породи. Експлікація будівель і споруд на плані озеленення представлена в табл. 5.1

Таблиця 5.1

Експлікація будівель і споруд на плані озеленення

Експлікація будівель та споруд			
№	Будівлі та споруди	Кількість, шт.	Площа м ²
1	Житлові будинки	2	72,5
2	Вигрібна яма	1	2,5
3	Насосна станція (водопостачання)	1	4
4	Складські приміщення	4	221,8,7
5	Туалет	1	2,3

Суттєву роль у формуванні структури насаджень відіграють хвойні рослини, які забезпечують декоративність території протягом усього року. До складу хвойних насаджень входять декоративні форми туї західної (*Thuja occidentalis* 'Smaragd', *Thuja occidentalis* 'Golden Globe'), різні види ялівців (*Juniperus communis*, *Juniperus sabina*, *Juniperus horizontalis*), а також ялина колюча форма блакитна (*Picea pungens* f. *glauca*). Використання цих рослин дозволяє створити різноманітність форм, текстур та кольорових відтінків хвої.

Поряд із хвойними породами у композиції використано листяні декоративні дерева та чагарники, серед яких *Betula pendula*, *Syringa vulgaris*, *Berberis thunbergii* та *Forsythia ovata*.

Окрему функціональну частину території становлять плодові насадження, представлені такими видами, як *Malus domestica*, *Prunus cerasus*. Їх розміщення у віддаленій частині ділянки забезпечує зручність догляду та ефективне використання простору.

Важливим елементом композиції є акцентні групи рослин, які привертають увагу та формують основні візуальні домінанти на території. Такі групи розміщені у ключових точках ділянки – поблизу входу в приміщення, на перетинах доріжок та в зоні відпочинку. До складу цих композицій входять декоративні хвойні та листяні рослини з виразними морфологічними ознаками.

Видовий склад рослин та їх кількісні показники наведено у табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Асортимент рослин використаних у проекті озеленення

№	Українська назва рослини	Латинська назва	Кількість, шт.
1	2	3	4
1	Горіх волоський	<i>Juglans regia</i> L.	1
2	Береза повисла ‘Verrucosa’	<i>Betula pendula</i> ‘Verrucosa’	1
3	Бузок звичайний	<i>Syringa vulgaris</i> Jacq.	1
4	Ялівець звичайний ‘Hibernica’	<i>Juniperus communis</i> ‘Hibernica’	1
5	Смородина чорна	<i>Ribes nigrum</i> L.	5
6	Ялівець козацький ‘Rockery Gem’	<i>Juniperus sabina</i> ‘Rockery Gem’	2
7	Ялівець горизонтальний ‘Glauca’	<i>Juniperus horizontalis</i> ‘Glauca’	3

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4
8	Яблуня домашня	<i>Malus domestica</i>	1
9	Груша звичайна	<i>Pyrus communis</i> L.	1
10	Тюльпан Геснера	<i>Tulipa gesneriana</i>	30
11	Айстра новоанглійська	<i>Aster novae-angliae</i>	1
12	Ялина колюча форма блакитна	<i>Picea pungens</i> f. <i>glauca</i>	16
13	Хризантема гібридна 'Debonair'	<i>Chrysanthemum</i> 'Debonair'	2
14	Барбарис Тунберга 'Atropurpurea'	<i>Berberis thunbergii</i> 'Atropurpurea'	3
15	Форзиція яйцеподібна 'Melisa'	<i>Forsythia ovata</i> 'Melisa'	11
16	Туя західна 'Golden Globe'	<i>Thuja occidentalis</i> 'Golden Globe'	4
17	Туя західна 'Smaragd'	<i>Thuja occidentalis</i> 'Smaragd'	5
18	Півонія гібридна 'Adda Caller'	<i>Paeonia</i> 'Adda Caller'	2
19	Лілія гібридна 'Apricot Fudge'	<i>Lilium</i> 'Apricot Fudge'	3
20	Троянда гібридна 'Abracadabra'	<i>Rosa</i> 'Abracadabra'	2
21	Троянда гібридна 'About Face'	<i>Rosa</i> 'About Face'	3
22	Рододендрон гібридний 'Polarnacht'	<i>Rhododendron</i> 'Polarnacht'	4
23	Вишня звичайна	<i>Prunus cerasus</i>	1

1	2	3	4
24	Плющ звичайний	Hedera helix	28

Особливу роль у композиції зелених насаджень відіграє ялина колюча форма блакитна (*Picea pungens* f. *glauca*), яка є однією з найбільш декоративних хвойних порід, що широко використовується у сучасному ландшафтному дизайні. Ця рослина характеризується густою конічною кроною та характерним сріблясто-блакитним забарвленням хвої, що створює виразний колірний контраст у композиції насаджень.

У представленому проекті *Picea pungens* f. *glauca* використовується як домінуючий декоративний елемент у групових посадках. Завдяки своїм декоративним властивостям вона формує композиційні акценти та підсилює просторову структуру озеленення. Блакитний відтінок хвої ефектно поєднується з зеленими відтінками інших хвойних рослин, а також контрастує з листяними породами.

Квіткове оформлення ділянки представлено багаторічними декоративними культурами, зокрема *Tulipa gesneriana*, *Paeonia*, *Chrysanthemum*, *Lilium* та *Aster*. Ці рослини забезпечують яскраве сезонне цвітіння та підсилюють декоративний ефект композиції. Квітники розміщені поблизу доріжок та у зонах відпочинку, де вони найбільш доступні для візуального сприйняття.

Вертикальне озеленення на території реалізовано за допомогою плюща звичайного (*Hedera helix*), який використовується для декорування окремих елементів саду. В'юнкі рослини сприяють формуванню багаторівневої структури зелених насаджень та створюють додаткові декоративні ефекти.

Таким чином, сформована система зелених насаджень характеризується високим видовим різноманіттям і включає дерева, чагарники, багаторічні квіткові та в'юнкі рослини. Запропонована композиція озеленення забезпечує

гармонійне поєднання архітектурних елементів і зелених насаджень, підвищує естетичну привабливість території та створює сприятливі екологічні умови для проживання.

Баланс території досліджуваної ділянки наведено у табл. 5.3

Таблиця 5.3

Баланс території об'єкта проектування

Баланс території			
№	Елементи структури	Площа	
		м ²	%
1	Будівлі та споруди	303,1	20
2	Зелені насадження	184,6	12,2
3	Газон	692,6	45,7
4	Город	63,9	4,2
5	Плиткове покриття	272	17,9
6	Загалом	1516,2	100

Отже, проект озеленення, представлений на рис. 5.5, демонструє ефективне використання різних життєвих форм рослин і принципів ландшафтного дизайну. Особливу роль у формуванні декоративної структури насаджень відіграє *Picea pungens f. glauca*, яка виступає одним із ключових елементів композиції.

З метою комплексного розкриття можливостей інтеграції ялини колючої форми блакитної у різні типи просторового середовища в умовах Правобережного Лісостепу України, нами було розроблено наступну проектну пропозицію. Цей проект репрезентує альтернативний підхід до функціонального зонування та побудови дендрологічних композицій, демонструючи універсальність *Picea pungens f. glauca* при вирішенні принципово інших ландшафтно-архітектурних завдань.

Розроблена проектна пропозиція, спрямована на оптимізацію просторового середовища присадибної території в умовах Правобережного

Лісостепу України, базується на концептуальному використанні високого декоративного та фітоценотичного потенціалу *Picea pungens* f. *glauca* як ключового формотворчого інструменту ландшафтної архітектури. Просторове рішення, візуалізоване на дендрологічному плані (рис. 5.6).



Рис.5.10 Генеральний план озеленення та благоустрою ділянки

Для раціональної організації простору та забезпечення комфортного проживання на ділянці передбачено ряд капітальних та допоміжних споруд,

детальні характеристики яких наведено в експлікації будівель та споруд табл. 5.4.

Таблиця 5.4

Експлікація будівель та споруд на плані озеленення

















Експлікація будівель та споруд			
№	Будівлі та споруди	Кількість, шт.	Площа м ²
1	Житловий будинок	1	135,1
2	Гараж	1	42,2
3	Складське приміщення	1	17,3
4	Альтанка	1	13,7
5	Ставок	1	45,2

Даний план демонструє глибоку синергію регулярних та ландшафтних прийомів планування, де транзитна парадна зона набуває монументальності завдяки організації під'їзної алеї до гаражного комплексу, яка оточена строгою лінійно-ритмічною висадкою екземплярів ялини колючої форми блакитної у чергуванні зі стрункими вертикалями туї західної (*Thuja occidentalis*), що не лише задає чіткий вектор руху, але й формує вічнозелену архітектурну вісь із високою цілорічною декоративністю та просторовою перспективою. Кульмінаційним вузлом геометричного планування виступає композиція партерного модуля у геометричному центрі ділянки, де в якості абсолютної ландшафтної домінанти застосовано солітерну посадку *Picea pungens* f. *glauca*, строгий конусоподібний габітус та виразна сизо-блакитна хвоя якої підкреслюються складнопідрядним багатоярусним обрамленням: першим рівнем слугує щільний сланкий килим із ялівцю горизонтального (*Juniperus horizontalis*), який майстерно нівелює перехід до горизонтальної площини, а зовнішній контур формується за рахунок замкненого кільцевого бордюру з барбарису Тунберга (*Berberis thunbergii*), він характеризується насиченим пурпуровим відтінком листя та створює глибокий колористичний контраст із хвоєю головного солітера, візуально структурує простір та надає всій

композиції математичної та завершеності. Біологічна повноцінність акваторії та її висока естетична цінність забезпечуються впровадженням широкого асортименту гідрофітів, зокрема кількох декоративних сортів латаття (загалом 80 одиниць *Nymphaea stellata*, 'Darwin', 'Red Flare', 'Virginalis'), які у поєднанні з посадками ірису різнокольорового (*Iris versicolor*) створюють безперервне цвітіння на поверхні водойми протягом усього теплого сезону, детальні кількісні та номенклатурні параметри наведено в асортиментній відомості (табл. 5.4).

Таблиця 5.5

Асортимент рослин використаних у проекті озеленення

№	Асортимент рослин			
	Символ	Кількість	Латинська назва	Українська назва
1		12	<i>Thuja occidentalis</i>	Туя західна
2		30	<i>Iris versicolor</i>	Ірис різнокольоровий
3		3	<i>Prunus cerasifera</i>	Слива розлога (алича)
4		35	<i>Picea pungens glauca</i>	Ялина колоча форма блакитна
5		3	<i>Malus 'Harvest Gold'</i>	Яблуня декоративна 'Харвест Голд'
6		198	<i>Tulipa 'Hallandia'</i>	Тюльпан 'Халландія'
7		4	<i>Cupressus sempervirens</i>	Кипарис вічнозелений
8		28	<i>Berberis thunbergii</i>	Барбарис Тунберга
9		120	<i>Juniperus Horizontalis</i>	Ялівець горизонтальний
10		80	<i>Rhododendron 'Boule de Neige'</i>	Рододендрон 'Буль де Неж'
11		8	<i>Rosa 'Sevillana'</i>	Троянда 'Севільяна'
12		20	<i>Nymphaea stellata</i>	Латаття зірчасте
13		20	<i>Nymphaea 'Darwin'</i>	Латаття 'Дарвін'
14		20	<i>Nymphaea 'Red Flare'</i>	Латаття 'Ред Флер'
15		20	<i>Nymphaea 'Virginalis'</i>	Латаття 'Віргіналіс'
16		2	<i>Morus alba 'Pendula'</i>	Шовковиця біла "Плакуча"

На протигагу формальній вхідній групі, рекреаційна зона спроектована за канонами пейзажного стилю як осередок психоемоційного розвантаження та

споглядання, де головну роль відіграє штучна водойма звивистої природної форми у комплексі з архітектурною формою малої альтанки; при цьому стратегічне розміщення екземпляра *Picea pungens* f. *glauca* безпосередньо на береговій лінії дозволяє активно залучити ефект віддзеркалення, коли архітектоніка крони та специфічне забарвлення хвої оптично дублюються у водному відображенні, візуально поглиблюючи перспективу, збільшуючи об'єм простору та об'єднуючи наземний і водний ландшафти в єдину картину.

Господарська зона, локалізована у північно-західному секторі, вирішена з суворим дотриманням принципів функціонального зонування та естетичної маскувальності: утилітарна споруда гармонійно інтегрована у загальний ландшафт завдяки прилеглому квітнику, що базується на масовій висадці ранньовесняних ефемероїдів, зокрема тюльпанів сорту 'Hallandia' у кількості 198 штук, які формують потужну яскраву кольорову пляму на самому початку вегетаційного періоду, ефективно компенсуючи відсутність листяного покриву на листяних таксонах. Видатним та нестандартним елементом об'ємно-просторової структури саду виступає складна кулісна біогрупа у південно-західній частині, майстерно сконструйована з трьох екземплярів ялини та трьох туй, які щільно об'єднані спільним концентричним масивом ялівцю горизонтального; такий інноваційний прийом просторового групування не лише яскраво демонструє високий рівень агроценотичної сумісності різних хвойних порід, але й виконує практичну роль потужного візуального екрану та надійного вітрозахисного бар'єру, що дозволяє оптимізувати мікроклімат на ділянці. Зрештою, загальний збалансований підбір дендрологічного матеріалу (табл. 5.6), що включає 35 великомірних дерев *Picea pungens* f. *glauca* та гармонійно доповнюється квітучими масивами рододендрона 'Boule de Neige', акцентними солітерними посадками декоративної яблуні 'Harvest Gold' та плакучою формою шовковиці білої (*Morus alba* 'Pendula'), переконливо доводить можливість створення високодекоративних, екологічно стійких та композиційно довершених ландшафтних об'єктів, де сиза форма колючої ялини

максимально ефективно виконує функцію головного архітектурного та естетичного ядра всього садово-паркового ансамблю.

За результатами проектування було проведено розрахунок співвідношення різних типів поверхонь, що дозволило визначити ступінь озеленення ділянки та раціональність використання площі. Підсумкові дані наведено у балансі території табл. 5.6.

Таблиця 5.6

Баланс території на плані озеленення

Баланс території			
№	Елементи структури	Площа	
		м ²	%
1	Будівлі та споруди	253,5	11,3
2	Зелені насадження	761	33,8
3	Газон	1000	44,4
4	Клумба	31,9	1,4
5	Мощення з каменю	85,3	3,8
6	Асфальтове покриття	104	4,6
7	Тротуар	14,3	0,7
8	Загалом	2250	100

Баланс території свідчить про переважання озелених площ: газони займають 44,4%, зелені насадження – 33,8%, що загалом формує високий рівень озеленення ділянки. Частка забудови становить 11,3%, тоді як покриття (мощення, асфальт, тротуари) разом займають незначну площу – близько 9,1%. Це вказує на раціональну організацію простору з пріоритетом озеленення.

Висновок до розділу 5

1. Встановлено, що *Picea pungens* f. *glauca* є однією з найбільш цінних хвойних декоративних порід, яка широко використовується в озелененні населених пунктів. Високі декоративні властивості, зокрема правильна конічна форма крони, сріблясто-блакитне забарвлення хвої та довговічність, зумовлюють її широке застосування у ландшафтному будівництві.

2. Аналіз особливостей використання даного виду показав, що *Picea pungens* f. *glauca* ефективно застосовується у різних типах зелених насаджень – міських парках, скверах, прибудинкових територіях, приватних садах, а також на адміністративних і меморіальних територіях, де вона виконує важливу декоративну та композиційну функцію.

3. На основі проведених досліджень було розроблено проекти озеленення присадибної ділянки, представлений на плані озеленення (рис. 5.5; рис. 5.6), у якому *Picea pungens* f. *glauca* використано як одну з основних композиційних рослин, що формує просторову структуру насаджень і виступає декоративним акцентом у загальній композиції.

4. Використання *Picea pungens* f. *glauca* у ландшафтних композиціях дозволяє підвищити естетичну цінність територій, створити виразні композиційні акценти та забезпечити стабільний декоративний ефект зелених насаджень.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що застосування екзогенних ауксинів є важливим чинником підвищення регенераційної здатності стеблових живців ялина колюча форма блакитна. У контрольному варіанті рівень укорінення залишався низьким (4,4–5,6 %), що підтверджує обмежений природний потенціал ризогенезу без гормональної стимуляції.

2. Доведено наявність чіткої залежності виходу укорінених живців залежно від концентрації індоліл-3-масляної кислоти (ІМК) та тривалості обробки. Найвищі показники спостерігалися за застосування ІМК у концентрації 150 мг/л протягом 6 годин, що забезпечило максимальний вихід укорінених живців 28,9 %. Подовження замочування живців до 24 годин за даної концентрації призводило до різкого пригнічення виходу укорінених живців, який становив 5,6 %.

3. Встановлено, що за низьких концентрацій ІМК (50 мг/л) пролонгація обробки позитивно впливала на укорінення, однак загальний рівень ризогенезу залишався невисоким (до 17,8 %), що свідчить про недостатню стимулюючу ефективність даної концентрації.

4. Встановлено, що застосування нафтилоцтової кислоти (НОК) також сприяло підвищенню виходу укорінених живців, проте її ефективність була дещо нижчою порівняно з ІМК. Найкращий результат отримано за концентрації 150 мг/л та 6-годинного замочування, що становило 24,4 %. Подовження тривалості обробки до 24 годин зумовлювало різке зниження укорінення до рівня контролю, що становило 4,4 %.

5. Порошкоподібний препарат Rhizopon 0,5 % характеризувався вищим відсотком виходу укорінених живців порівняно з водними розчинами ІМК та НОК, і становив 34,4 %, перевищуючи контрольний показник більш ніж у шість разів.

6. За короткочасного оброблення водними розчинами ІМК та НОК найвищого виходу укорінених живців досягнуто за застосування концентрації 1000 мг/л, відповідно 28,9 та 20%.

7. Встановлено, що гелевий препарат Clonex Purple характеризувався максимальними показниками виходу укорінених живців, порівняно із іншими варіантами дослідження, та становив 37,8 %.

8. Встановлено, що кількість сформованих коренів у стеблових живців *ялина колюча* форма *блакитна* істотно залежить від типу стимулятора, його концентрації та тривалості дії, причому найвищу ефективність забезпечили гелеві та порошкоподібні препарати: максимальний показник зафіксовано за застосування Clonex Purple – у середньому 13,3 кореня на живець, дещо нижчий – Clonex Green – 12,3 кореня та Rhizopon 0,5 % – 11,7 кореня.

9. Серед водних розчинів ауксинів найвищі показники були зафіксовані у варіантах із застосуванням концентрації ІМК 150 мг/л (6 год.) – 9,7 кореня, що перевищувало відповідний варіант із застосуванням НОК 150 мг/л (6 год.), який становив 7,7 кореня, тоді як підвищення концентрації або тривалості замочування, зокрема ІМК і НОК 150 мг/л, 24 год.; ІМК 5000 мг/л; НОК 3000–5000 мг/л; Rhizopon 1 % призводило до різкого зниження кількості коренів, який наближався до рівня контролю (2,3–2,7 кореня).

10. Найвищі показники довжини коренів у стеблових живців *ялини колючої* форми *блакитної* зафіксовано за застосуванні Clonex Purple – у середньому 46,8 см, дещо нижчі показники зафіксовано за застосуванні препарату Clonex Green – 45,0 см та Rhizopon 0,5 % – 44,2 см, Rhizopon 0,25 % – 41,4 см.

11. Серед водних розчинів ауксинів найвищі показники отримано у варіанті дослідження із застосуванні ІМК концентрацією 150 мг/л (6 год) – 37,6 см та НОК 150 мг/л (6 год) – 31,2 см., також ефективним було застосування НОК концентрацією 100 мг/л та 12-годинному замочуванні – 27,9 см, тоді як підвищення концентрації або тривалості обробки, зокрема ІМК 150 мг/л, 24 год;

НОК 150 мг/л, 24 год; ІМК і НОК 3000–5000 мг/л; Rhizopon 1 % призводило до різкого зниження довжини коренів до рівня контролю (близько 14,7–15,6 см).

12. Встановлено, що інтенсивність росту надземної частини укорінених живців ялини колючої форми блакитної найбільшою мірою залежить від типу стимулятора та його концентрації, причому найвищу ефективність забезпечили гелеві та порошкові препарати: максимальний середній приріст надземної частини зафіксовано за застосуванні препарату Clonex Purple – 4,4 см, дещо нижчий – Clonex Green – 4,1 см та Rhizopon 0,5 % – 4,1 см.

13. Серед розчинів ауксинів найкращі результати отримано за використанні ІМК концентрацією 1000 мг/л – 3,6 см та НОК концентрацією 1000 мг/л – 3,5 см, тоді як підвищення концентрацій ІМК 5000 мг/л, НОК 5000 мг/л, Rhizopon 0,5 % призводило до зниження приросту до контрольного показника (2,0–2,2 см).

14. На основі результатів досліджень встановлено, що біометричні показники однорічних саджанців, дорощених у закритому ґрунті, перевищували відповідні показники саджанців, дорощених у відкритому ґрунті, що свідчить про більш сприятливі умови для росту та розвитку рослин у закритому ґрунті

15. На основі результатів комплексних досліджень розроблено проєктні пропозиції щодо використання *Picea pungens* f. *glauca* у ландшафтному проєктуванні. У структурі садово-паркових композицій ялина колюча форма блакитна використовується як акцентна рослина в групових насадженнях, солітер або домінанта в хвойних міксбордерах, що забезпечує сталий декоративний ефект завдяки своїй контрастній колористиці та стабільній архітектоніці крони.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. Застосовувати для стимуляції коренеутворення препарати пролонгованої дії, зокрема гелеподібні форми (типу Clonex Purple) або порошкові суміші (Rhizopon 0,5 %).

2. Дотримуватися чітких регламентів за використанні водних розчинів ауксинів (ІМК та НОК), обмежуючи експозицію замочування 6 годинами за концентрації 150 мг/л.

3. У ландшафтних композиціях у Правобережному Лісостепу України використовувати отриманий вегетативним шляхом садивний матеріал ялини колючої форми блакитної як пріоритетний елемент для створення стійких декоративних груп, солітерів та акцентів, враховуючи його високу екологічну пластичність до умов міського середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Rushforth K. Conifers. London : Christopher Helm Publishers, 1987. 232 p.
2. Encyclopedia of conifers / Royal Horticultural Society. London : DK Publishing, 2013. 512 p.
3. Bean W. J. Trees and shrubs hardy in the British Isles. 8th ed. London : Murray, 1976. 784 p.
4. Rehder A. Manual of cultivated trees and shrubs hardy in North America. 2nd ed. New York : Macmillan, 1949. 996 p.
5. Johnson O., More D. Collins tree guide. London : HarperCollins Publishers, 2016. 464 p.
6. Mitchell A. Field guide to the trees of Britain and Northern Europe. London : Collins, 2006. 288 p.
7. Bongarten B. C., Hanover J. W. Hybridization among white, red, blue, and white \times blue spruces. Forest Science. 1982. Vol. 28, № 1. P. 129–134. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestsience/28.1.129>
8. Korshikov I. I., Huseynova E. R. Pollen characteristics of *Picea abies* and *Picea pungens* in the plantations of Kryvyi Rih area. Ukrainian Botanical Journal. 2018. Vol. 75, № 5. P. 446–456.
9. Korshikov I. I., Huseynova E. R. Pollen characteristics of *Picea abies* and *P. pungens* (Pinaceae) in the plantations of the Kryvyi Rih area. Ukrainian Botanical Journal. 2018. Vol. 75, № 5. P. 446–456. DOI: <https://doi.org/10.15407/ukrbotj75.05.446>
10. Довбиш Н. Ф., Шпакова О. Г., Малина Н. Г. та ін. Досвід вивчення прискореного розмноження інтродукованих деревних рослин в Донецькому ботанічному саду НАН України. Промышленная ботаника : сб. науч. тр. 2004. Вып. 4. С. 125–130.
11. Krüssmann G. Manual of cultivated conifers. Portland : Timber Press, 1985. 361 p.

12. Juszczak M., Talarczyk T. Kornik 2000 — a new cultivar of *Picea pungens* Engelm. Rocznik Dendrologiczny. 2000. Vol. 48. P. 85–90.
13. Tarabun M. O. Ecological and geographical aspects of evaluating the prospects of introduction of *Picea glauca* (Moench) Voss in the Trostyanets dendrological park of NAS of Ukraine. Scientific Notes. Biological Sciences. 2024. № 1–2. P. 19–29.
14. Birch J. D., DeRose R. J., Lutz J. A. Spruce up your climate analysis: Dendroclimatology of *Picea engelmannii* and *Picea pungens*. Ecosphere. 2024. Vol. 15, № 2. Article e70047. DOI: <https://doi.org/10.1002/ecs2.70047>
15. Blue Spruce (*Picea pungens*) // Virginia Tech Dendrology : вебсайт. URL: <https://dendro.cnre.vt.edu/dendrology/syllabus/factsheet.cfm?ID=109> (дата звернення: 05.05.2026).
16. *Picea pungens* var. *glauca* // Oregon State University Landscape Plants : вебсайт. URL: <https://landscapeplants.oregonstate.edu/plants/picea-pungens-var-glauca> (дата звернення: 05.05.2026).
17. *Picea pungens* *Glauca* Group // Royal Horticultural Society : вебсайт. URL: <https://www.rhs.org.uk/plants/141134/picea-pungens-glauca-group-colorado-spruce-glauca-group/details> (дата звернення: 05.05.2026).
18. *Picea pungens* var. *glauca* Regel // Plants of the World Online (Kew Science) : вебсайт. URL: <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:77287484-1> (дата звернення: 18.05.2026).
19. Шумик М. І. Теоретичні обґрунтування перспектив розмноження декоративних деревних рослин на сучасному етапі. Інтродукція рослин. 2004. № 4. С. 58–62.
20. *Picea pungens* // The Gymnosperm Database : вебсайт. URL: https://www.conifers.org/pi/Picea_pungens.php (дата звернення: 05.05.2026).
21. Fechner G. H. *Picea pungens* Engelm. (Blue spruce) // Silvics of North America. Vol. 1. Conifers / Burns R. M., Honkala B. H. (tech. coords.). Washington,

DC : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 1990. Agriculture Handbook 654. P. 238–249.

22. Shepherd T., Griffiths D. W. The effects of stress on plant cuticular waxes // New Phytologist. 2006. Vol. 171, № 3. P. 469–499. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01826.x>

23. Suszka B., Chmielarz P., Walkenhorst R. How long can seeds of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) be stored? // Annals of Forest Science. 2005. Vol. 62, № 1. P. 73–78. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:2004082>

24. Tarabun M. O. Еколого-географічні аспекти оцінки перспективності інтродукції *Picea glauca* у дендропарк «Тростянець» // Biological Systems: Theory and Innovation. 2024. Vol. 1–2. P. 19–29. DOI: <https://doi.org/10.31654/2786-8478-2024-BN-1-2-19-29>

25. Gernandt D. S., Holman G., Campbell C. et al. Phylogenetics of extant and fossil Pinaceae: methods for increasing topological stability // Botany. 2016. Vol. 94, № 9. P. 863–884. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjb-2016-0064>

26. Reicosky D. A., Hanover J. W. Physiological effects of surface waxes: I. Light reflectance for glaucous and nonglaucous *Picea pungens* // Plant Physiology. 1978. Vol. 62, № 1. P. 101–104. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.62.1.101>

27. Radu R. Gh., Sparchez Gh., Sofletea N. et al. Genetic diversity of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in Romanian Carpathians // Annals of Forest Research. 2014. Vol. 57, № 1. P. 19–29. DOI: <https://doi.org/10.15287/afr.2014.178>

28. Кохно М. А. Дендрологія України: інтродуковані хвойні. Київ : Фітосоціоцентр, 2001. 172 с.

29. Кучерявий В. П. Озеленення населених місць. Львів : Світ, 2005. 456 с.

30. Мазепа В. Г. Історія інтродукції деревних рослин у парках України // Питання біоіндикації та екології. 2010. Вип. 15, № 1. С. 12–21.

31. Nowak D. J., Dwyer J. F. Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems // Urban and Community Forestry in the Northeast / Kuser J. E.

(ed.). 2nd ed. Dordrecht : Springer, 2007. P. 25–46. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4289-8_2

32. Groot A. Fifteen-year results of black spruce uneven-aged silviculture in Ontario, Canada // Forestry. 2013. Vol. 87, № 1. P. 99–107. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpt021>

33. Бондарь О. В. Ялина колюча (*Picea pungens* Engelm.) в зелених насадженнях України: біоекологічні особливості та декоративність // Науковий вісник НЛТУ України. 2012. Вип. 22.1. С. 34–38.

34. Юхно Б. Парки міста // Черкаські місторії. Черкаси, 2011. С. 215–239.

35. Кузнецов С. І., Чуприна П. Я. Географічні культури хвойних порід в Україні. Київ : Аграрна наука, 2008. 240 с.

36. Синько Б., Огаренко Ю. Реконструкція та благоустрій зелених зон: з чого почати та як успішно втілити проєкт : посібник для місцевої влади та громадськості. Київ, 2021. 103 с.

37. Структура та розвиток культурфітоценозів Криворіжжя : монографія / за ред. Е. О. Євтушенка, В. М. Савоська. Кривий Ріг : Діонат, 2017. 168 с.

38. Свояк Н. І., Фоміна Н. М. Парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва Черкаської області. Черкаси : Вертикаль, 2012. 191 с.

39. Природно-заповідний фонд Черкаської області / уклад. Т. Ф. Коноваленко, О. С. Барило, І. М. Карастан. Черкаси : Вертикаль ; видавець ПП Кандич С. Г., 2006. 196 с.

40. Лаптев О. О. Інтродукція та акліматизація рослин з основами озеленення : навчальний посібник. Київ : Фітосоціоцентр, 2001. 128 с.

41. Eckenwalder J. E. Conifers of the world: The complete reference. Portland : Timber Press, 2009. 720 p.

42. Kayama M., Sasa K., Koike T. Needle life span, photosynthetic rate and nutrient concentration of *Picea glehnii*, *P. jezoensis* and *P. abies* planted on serpentine soil in northern Japan // Tree Physiology. 2002. Vol. 22, № 10. P. 707–716.

43. Farjon A. A handbook of the world's conifers : in 2 vols. Leiden ; Boston : Brill, 2010. 1112 p. DOI: <https://doi.org/10.1163/9789047430629>.
44. Олексійченко Н. О., Гатальська Н. В. Інтродуценти парків-пам'яток садово-паркового мистецтва Центрально-Придніпровської височинної області. Частина 2 : монографія. Київ : ЦП «Компринт», 2013. 138 с.
45. Gerendia A. Z., Peltola H., Pulkkinen P., Kellomäki S. Effects of genetic entry and competition by neighbouring trees on growth and wood properties of cloned Norway spruce (*Picea abies*) // *Annals of Forest Science*. 2009. Vol. 66, no. 8. Article 806. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest/2009075>.
46. Маурер В. М., Кушнір А. І. Методичні рекомендації з розмноження деревних декоративних рослин Ботанічного саду НУБіП України. Київ : Вид-во НУБіП України, 2008. 55 с.
47. Hérault B., Thoen D., Honnay O. Assessing the potential of natural woody species regeneration for the conversion of Norway spruce plantations on alluvial soils // *Annals of Forest Science*. 2004. Vol. 61, no. 7. P. 711–719. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest2004057>.
48. Білоус В. І. Декоративне садівництво (основи квітникарства, дендрології та озеленення) : підручник. Умань, 2005. 296 с.
49. Franceschi V. R., Krokene P., Christiansen E., Krekling T. Anatomical and chemical defenses of conifer bark against bark beetles and other pests // *New Phytologist*. 2005. Vol. 167, no. 2. P. 353–376. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01436.x>.
50. Колесніченко О. В., Слюсар С. І., Якобчук О. М. Методичні рекомендації з розмноження деревних декоративних рослин Ботанічного саду НУБіП України. Київ : НУБіП України, 2008. 55 с.
51. Androsiuk P., Kaczmarek Z., Urbaniak L. The morphological traits of needles as markers of geographical differentiation in European *Pinus sylvestris* populations // *Dendrobiology*. 2011. Vol. 65. P. 3–16.

52. Bacic T., Ljubescic N., Uzarevic Z., Grgic L., Rosa J. TEM investigation of tannins and chloroplast structure in needles of damaged silver fir trees (*Abies alba* Mill.) // *Acta Biologica Cracoviensia. Series Botanica*. 2004. Vol. 46. P. 145–149.
53. Boratyńska K., Hincă M. Morphological characteristic of *Pinus sylvestris* L. in the southernmost, isolated locality in the Sierra de Baza (S Spain) as expressed in the needle characters // *Dendrobiology*. 2003. Vol. 50. P. 3–9.
54. Budeanu M., Șofletea N., Pârnuță G. Testing Romanian seed sources of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.): results on growth traits and survival at age 30 // *Annals of Forest Research*. 2012. Vol. 55, no. 1. P. 43–52.
55. Huttunen S., Turunen M., Reinikainen J. Studies on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) needle cuticles // *Annals of Forest Science*. 1989. Vol. 46, suppl. P. 553–556.
56. Kurkela T., Drenkhan R., Vuorinen M., Hanso M. Growth response of young Scots pines to needle loss assessed from productive foliage // *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*. 2009. Vol. 50. P. 5–22.
57. Lichtenthaler H. K. Biosynthesis and accumulation of isoprenoid carotenoids and chlorophylls and emission of isoprene by leaf chloroplasts // *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*. 2009. Vol. 3, no. 3. P. 81–94.
58. Elvira S., Alonso R., Castillo F. J., Gimeno B. S. On the response of pigments and antioxidants of *Pinus halepensis* seedlings to Mediterranean climatic factors and long-term ozone exposure // *New Phytologist*. 1998. Vol. 138, no. 3. P. 419–432.
59. Заячук В. Я. Дендрологія : підручник. 2-ге вид., допов. Львів : Сполом, 2014. 676 с.
60. Zou J., Sun Y., Li L. et al. Population genetic evidence for speciation pattern and gene flow between *Picea wilsonii*, *P. morrisonicola* and *P. neoveitchii* // *Annals of Botany*. 2013. Vol. 112, no. 9. P. 1829–1844. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mct241>.
61. Thibeault-Martel M., Krause C., Morin H., Rossi S. Cambial activity and intra-annual xylem formation in roots and stems of *Abies balsamea* and *Picea*

mariana // Annals of Botany. 2008. Vol. 102, no. 5. P. 667–674. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcs146>

62. Vidakovic M. Conifers: Morphology and variation. Zagreb : Grafički Zavod Hrvatske, 1991. 754 p.

63. Балабушка В. К., Маринич І. С., Бабицький А. І. Вегетативне розмноження малопоширених листопадних і хвойних деревних та чагарникових рослин здерев'янілими (зимовими) живцями у відкритому ґрунті // Агробіологія. 2012. № 8. С. 23–27. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agr_2012_8_8.

64. Herrera F., Leslie A. B., Shi G. et al. New fossil Pinaceae from the Early Cretaceous of Mongolia // Botany. 2016. Vol. 94, no. 9. P. 885–915. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjb-2016-0042>.

65. Ievinsh G., Ozola D. Spatial distribution of ethylene production by individual needles along a shoot of *Pinus sylvestris* L.: relationship with peroxidase activity // Annals of Botany. 1998. Vol. 82, no. 4. P. 489–495.

66. Farjon A. A handbook of the world's conifers. 2nd ed. Leiden : Brill, 2017. 1111 p.

67. Egback S., Nilsson U., Nyström K. et al. Modeling early height growth in trials of genetically improved Norway spruce and Scots pine in southern Sweden // Silva Fennica. 2017. Vol. 51, no. 3. Article 5662. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.5662>.

68. Dumais D., Prévost M. Germination and establishment of natural red spruce (*Picea rubens*) seedlings in silvicultural gaps of different sizes // The Forestry Chronicle. 2016. Vol. 92, no. 1. P. 90–100. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc2016-021>.

69. Cram W. H., Lindquist C. H. Pollen viability studies for *Picea pungens* // The Forestry Chronicle. 1984. Vol. 60, no. 2. P. 93–95. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc60093-2>.

70. Bonga J. M. A comparative evaluation of the application of somatic embryogenesis, rooting of cuttings and organogenesis of conifers // Canadian Journal of Forest Research. 2015. Vol. 45, no. 4. P. 379–383. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0360>.

71. Wiensczyk A., Swift K., Morneault A. et al. An overview of the efficacy of vegetation management alternatives for conifer regeneration in boreal forests // The Forestry Chronicle. 2011. Vol. 87, no. 2. P. 175–200. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc2011-007>.

72. Токмань В. С., Кириченко Я. С. Особливості вегетативного розмноження *Thuja occidentalis* L. в умовах Сумського НАУ // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія». 2015. Вип. 3(27). С. 78–81.

73. Stinziano J. R., Hüner N. P. A., Way D. A. Warming delays autumn declines in photosynthetic capacity in a boreal conifer, Norway spruce (*Picea abies*) // Tree Physiology. 2015. Vol. 35, no. 12. P. 1303–1313. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv118>.

74. Urbaniak L., Karliński L., Popielarz R. Variation of morphological needle characters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) populations in different habitats // Acta Societatis Botanicorum Poloniae. 2003. Vol. 72, no. 1. P. 37–44.

75. Urbaniak L., Słószarz M., Karliński L. Description of the relict Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) populations in the Tatra and Pieniny mountains by needle characters // Study, conservation and utilisation of forest resources : Proceedings of the Third Balkan Scientific Conference, Sofia, Bulgaria, 2–6 October 2001. Sofia, 2002. Vol. 2. P. 191–198.

76. Montalbán I. A., De Diego N., Igartua E. A. et al. A combined pathway of somatic embryogenesis and organogenesis to regenerate radiata pine plants // Plant Biotechnology Reports. 2011. Vol. 5, no. 2. P. 177–186. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11816-011-0171-6>.

77. Tausz M., Bytnerowicz A., Arbaugh M. J. et al. Multivariate patterns of biochemical responses of *Pinus ponderosa* trees at field plots in the San Bernardino Mountains, southern California // Tree Physiology. 2001. Vol. 21, no. 5. P. 329–336.

78. Urbaniak L., Karliński L. Populations of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) under different abiotic environments: similarities and differences in the expression of phenotypic needle characters // Study, conservation and utilisation of forest resources

: Proceedings of the Third Balkan Scientific Conference, Sofia, Bulgaria, 2–6 October 2001. Sofia, 2002. Vol. 2. P. 199–207.

79. Познякова С. І., Лось С. А. Дендрологія. Голонасінні : навч. посібник. Харків, 2015. 199 с.

80. Tikkinen M., Latvala T., Aronen T. Interest in vegetatively propagated Norway spruce materials – a survey among Finnish forest owners and professionals // Silva Fennica. 2021. Vol. 55, no. 3. Article 10506. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.10506>.

81. Högborg K.-A., Varis S. Vegetative propagation of Norway spruce: experiences and present situation in Sweden and Finland // IUFRO Conference Proceedings. 2016. P. 538–550.

82. Rosvall O. Using Norway spruce clones in Swedish forestry: general overview and concepts // Scandinavian Journal of Forest Research. 2019. Vol. 34, no. 5. P. 336–341. DOI: <https://doi.org/10.1080/02827581.2019.1614659>.

83. Kramer P. J., Kozlowski T. T. Physiology of woody plants. New York : Academic Press, 1979. 811 p.

84. Cao X., Gao F., Qin C. et al. Optimizing somatic embryogenesis initiation, maturation and preculturing for cryopreservation in *Picea pungens* // Forests. 2022. Vol. 13, no. 12. Article 2097. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13122097>.

85. Zarei M., Salehi H., Jowkar A. Effects of temperature and season on in vitro establishment and shoot multiplication of *Picea abies* (L.) H. Karst. // International Journal of Horticultural Science & Technology. 2017. Vol. 4, no. 1. P. 51–56. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhst.2018.204818.115>.

86. Varis S., Klimaszewska K., Aronen T. Somatic embryogenesis and plant regeneration from primordial shoot explants of *Picea abies* (L.) H. Karst. somatic trees // Frontiers in Plant Science. 2018. Vol. 9. Article 1551. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01551>.

87. Larcher W. Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups. 4th ed. Berlin ; Heidelberg : Springer, 2003. 513 p.

88. Wang G. G., Siemens J. A., Keenan V., Philippot D. Survival and growth of black and white spruce seedlings in relation to stock type, site preparation and plantation type in southeastern Manitoba // *The Forestry Chronicle*. 2000. Vol. 76, no. 5. P. 775–782. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc76775-5>.
89. Pukacki P. M. Effects of sulphur, fluoride and heavy metals pollution on the chlorophyll fluorescence of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles // *Dendrobiology*. 2000. Vol. 45. P. 83–88.
90. Oleksyn J., Reich P. B., Zytowski R. et al. Needle nutrients in geographically diverse *Pinus sylvestris* L. populations // *Annals of Forest Science*. 2002. Vol. 59, no. 1. P. 1–18.
91. Nuorteva H. Effects of living crown reduction on needle element status of Scots pine // *Dissertationes Forestales*. 2008. No. 64. 33 p.
92. Bursać N., Čehulić I., Ivanković M., Bogdan S. Utjecaj hormonskih tretiranja na zakorjenjivanje odrvenjelih reznica obične smreke (*Picea abies* (L.) Karsten) // *Nova mehanizacija šumarstva*. 2019. Vol. 40, no. 1. P. 43–57. DOI: <https://doi.org/10.5552/nms.2019.5>.
93. Güney D., Bayraktar A., Atar F., Turna I. The effects of different factors on propagation by hardwood cuttings of some coniferous ornamental plants // *Šumarski list*. 2021. Vol. 145, no. 9–10. P. 467–477. DOI: <https://doi.org/10.31298/sl.145.9-10.5>.
94. Sariyildiz T., Anderson J. M. Intra-specific variation in cell wall constituents of needle age classes of *Pinus sylvestris* in relation to soil fertility status in southwest England // *Silva Fennica*. 2006. Vol. 40, no. 1. P. 15–26.
95. Savidge R. A. Porsild spruce in Canada // *The Forestry Chronicle*. 2013. Vol. 89, no. 1. P. 24–31. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc2013-008>.
96. Pukacki P. M. The effect of industrial air pollution on membrane lipid composition of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles // *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. 2004. Vol. 73, no. 3. P. 187–191.
97. Zarei M., Salehi H., Jowkar A. Controlling the barriers of cloning mature *Picea abies* (L.) H. Karst. via tissue culture and co-cultivation with *Agrobacterium*

rhizogenes // Trees. 2020. Vol. 34, no. 3. P. 637–647. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-019-01945-z>.

98. Charrier G., Pramsohler M., Charra-Vaskou K. et al. Ultrasonic emissions during ice nucleation and propagation in plant xylem // New Phytologist. 2015. Vol. 207, no. 3. P. 570–578. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.13361>.

99. Lei X. Individual height-diameter models for young black spruce (*Picea mariana*) and jack pine (*Pinus banksiana*) plantations in New Brunswick, Canada // The Forestry Chronicle. 2009. Vol. 85, no. 1. P. 43–56. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc85043-1>.

100. Маргітай Л. Г. Вплив регуляторів росту на вкорінення живців *Thuja occidentalis* L. // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Біологія. 2010. Вип. 27. С. 121–124.

101. Ragonezi C., Klimaszewska K., Castro M. R. et al. Adventitious rooting of conifers: influence of physical and chemical factors // Trees. 2010. Vol. 24, no. 6. P. 975–992. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0488-8>.

102. Hazubska-Przybył T., Wawrzyniak M. K. Somatic embryogenesis of Norway spruce and Scots pine // Forests. 2022. Vol. 13, no. 2. Article 155. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13020155>.

103. Niinemets Ü., Lukjanova A. Needle longevity, shoot growth and branching frequency in relation to site fertility and within-canopy light conditions in *Pinus sylvestris* // Annals of Forest Science. 2003. Vol. 60, no. 3. P. 195–208.

104. Peguero-Pina J. J., Morales F., Gil-Pelegrín E. Frost damage in *Pinus sylvestris* L. stems assessed by chlorophyll fluorescence in cortical bark chlorenchyma // Annals of Forest Science. 2008. Vol. 65, no. 8. Article 813.

105. Porcar-Castell A., Juurola E., Ensminger I. et al. Seasonal acclimation of photosystem II in *Pinus sylvestris*. II. Using the rate constants of sustained thermal energy dissipation and photochemistry to study the effect of the light environment // Tree Physiology. 2008. Vol. 28, no. 10. P. 1483–1491.

106. Morgenstern E. K., Fowler D. P. Genetics and breeding of black spruce and red spruce // *The Forestry Chronicle*. 1969. Vol. 45, no. 6. P. 408–412. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc45408-6>.
107. Nielsen C. C. N., Rasmussen H. N. Frost hardening and dehardening in *Abies procera* and other conifers under differing temperature regimes and warm-spell treatments // *Forestry*. 2008. Vol. 82, no. 1. P. 43–59. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpn048>.
108. Яворовський П. П., Калініченко О. А. Ефективність дії стимулятора росту «Триман-1» на ріст укорінених живців туї західної (*Thuja occidentalis* L.) і самшиту вічнозеленого (*Buxus sempervirens* L.) // *Науковий вісник УкрДЛТУ : збірник науково-технічних праць*. 2002. Вип. 12.4. С. 268–271.
109. Лісовий М. М. Особливості автовегетативного розмноження декоративних форм *Thuja occidentalis* L. URL: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2015/25_9/11.pdf.
110. Bacic T., Uzarevic Z., Grgic L. et al. Chlorophylls and carotenoids in needles of damaged fir (*Abies alba* Mill.) from Risnjak National Park in Croatia // *Acta Biologica Cracoviensia. Series Botanica*. 2003. Vol. 45, no. 2. P. 87–92.
111. Chui Y. H. Grade yields and wood properties of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] from the Maritimes // *The Forestry Chronicle*. 1995. Vol. 71, no. 4. P. 473–478. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc71473-4>
112. Steffenrem A., Saranpää P., Lundqvist S.-O., Skrøppa T. Variation in wood properties among five full-sib families of Norway spruce (*Picea abies*) // *Annals of Forest Science*. 2007. Vol. 64, no. 8. P. 799–806. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:2007062>.
113. Bassman J. H., Edwards G. E., Robberecht R. Long-term exposure to enhanced UV-B radiation is not detrimental to growth and photosynthesis in Douglas-fir // *New Phytologist*. 2002. Vol. 154, no. 1. P. 107–120.
114. Chaisurisri K., El-Kassaby Y. A. Estimation of clonal contribution to cone and seed crops in a Sitka spruce seed orchard // *Annals of Forest Science*. 1993. Vol. 50, no. 5. P. 461–467. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:19930504>.

115. Edwards D. G. W., El-Kassaby Y. A. The biology and management of coniferous forest seeds: genetic perspectives // *The Forestry Chronicle*. 1996. Vol. 72, no. 5. P. 481–484. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc72481-5>.
116. Коваль С. А. Утворення додаткових коренів у стеблових живців туї західної (форма колоноподібна) залежно від оброблення росторегулятивною речовиною // *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014. № 24. С. 85–91.
117. Koutaniemi S., Malmberg H. A., Simola L. K. et al. Norway spruce (*Picea abies*) laccases: characterization of a laccase in a lignin-forming tissue culture // *Journal of Integrative Plant Biology*. 2015. Vol. 57, no. 4. P. 341–348. DOI: <https://doi.org/10.1111/jipb.12333>.
118. Larsson E., Sundström J. F., Sitbon F., von Arnold S. Expression of PaNAC01, a *Picea abies* CUP-SHAPED COTYLEDON orthologue, is regulated by polar auxin transport and associated with differentiation of the shoot apical meristem and formation of separated cotyledons // *Annals of Botany*. 2012. Vol. 110, no. 4. P. 923–934. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcs151>.
119. Konôpka B., Pajtik J., Šebeň V., Lukac M. Belowground biomass functions and expansion factors in high elevation Norway spruce // *Forestry*. 2011. Vol. 84, no. 1. P. 41–48. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpq042>.
120. Калініченко О. А. Декоративна дендрологія. Київ : Вища школа, 2003. 199 с.
121. Mottet M.-J., Daoust G., Zhang S. Y. Impact of the white pine weevil (*Pissodes strobi* [Peck]) on Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) plantations. Part 2: lumber properties // *The Forestry Chronicle*. 2006. Vol. 82, no. 6. P. 834–843. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc82834-6>.
122. Narovec V., Narovcová J. Needle longevity as a criterion of response to climatic fluctuation (so-called heat wave) in Scots pine populations at early phases of ontogeny // *Journal of Forest Science*. 2012. Vol. 58, no. 1. P. 27–34.
123. Naydenova T., Velinova K. On some physiological-biochemical changes in the needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Austrian black pine (*Pinus nigra* Arn.) saplings in conditions of soil drought // *Proceedings of the Third Balkan*

Scientific Conference “Study, conservation and utilisation of forest resources”. Sofia, Bulgaria, 2–6 October 2001. Sofia, 2002. Vol. II. P. 311–319.

124. Косенко Ю. І. Особливості використання ростових речовин для вегетативного розмноження *Thuja occidentalis* L. // Ukrainian Journal of Forest and Wood Science. URL: <https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Lis/article/view/9968>.

125. Viherä-Aarnio A., Sutinen S., Partanen J., Häkkinen R. Internal development of vegetative buds of Norway spruce trees in relation to accumulated chilling and forcing temperatures // Tree Physiology. 2014. Vol. 34, no. 5. P. 547–556. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpu038>.

126. Barrette J., Pothier D., Duchesne I. Lumber and wood chips properties of dead and sound black spruce trees grown in the boreal forest of Canada // Forestry. 2014. Vol. 88, no. 1. P. 108–120. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpu033>.

127. Cermak T., Curtin S. J., Gil-Humanes J. et al. A multi-purpose toolkit to enable advanced genome engineering in plants // Plant Cell. 2017. Vol. 29. P. 1196–1217. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.16.00922>.

128. Busch F., Hüner N. P. A., Ensminger I. Increased air temperature during simulated autumn conditions does not increase photosynthetic carbon gain but affects the dissipation of excess energy in seedlings of the evergreen conifer jack pine // Plant Physiology. 2007. Vol. 143. P. 1242–1251.

129. Cabáľková J., Příbyl J., Skládal P. et al. Size, shape and surface morphology of starch granules from Norway spruce needles revealed by transmission electron microscopy and atomic force microscopy: effects of elevated CO₂ concentration // Tree Physiology. 2008. Vol. 28, no. 10. P. 1593–1599. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/28.10.1593>.

130. Barbier S., Balandier P., Gosselin F. Influence of several tree traits on rainfall partitioning in temperate and boreal forests: a review // Annals of Forest Science. 2009. Vol. 66, no. 6. Article 602. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest/2009041>.

131. Dere Ş., Güneş T., Sivaci R. Spectrophotometric determination of chlorophyll A, B and total carotenoid contents of some algae species using different solvents // Turkish Journal of Botany. 1998. Vol. 22, no. 1. P. 13–18.
132. Eycott A. E., Watkinson A. R., Dolman P. M. Ecological patterns of plant diversity in a plantation forest managed by clearfelling // Journal of Applied Ecology. 2006. Vol. 43. P. 1160–1171.
133. Chmura D. J., Guzik M., McCulloh K. A., Żytkowiak R. Limited variation found among Norway spruce half-sib families in physiological response to drought and resistance to embolism // Tree Physiology. 2016. Vol. 36, no. 2. P. 252–266. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv141>.
134. Bergeron C., Ruel J.-C., Elie J.-G., Mitchell S. J. Root anchorage and stem strength of black spruce (*Picea mariana*) trees in regular and irregular stands // Forestry. 2008. Vol. 82, no. 1. P. 29–41. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpn035>.
135. Suslova Y. *Picea pungens* Engelm. в урбанодендрофлорі промислових міст південного сходу України // Scientific Bulletin of UNFU. 2016. Vol. 26, no. 3. P. 172–177. DOI: <https://doi.org/10.15421/40260328>.
136. Skovsgaard J. P. Analysing effects of thinning on stand volume growth in relation to site conditions: a case study for even-aged Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) // Forestry. 2008. Vol. 82, no. 1. P. 87–104. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpn047>.
137. Mo J., Fang H., Zhu W. et al. Decomposition responses of pine (*Pinus massoniana*) needles with two different nutrient status to N deposition in a tropical pine plantation in southern China // Annals of Forest Science. 2008. Vol. 65, no. 4. Article 405.
138. Niinemets U., Ellsworth D. S., Lukjanova A., Tobias M. Dependence of needle architecture and chemical composition on canopy light availability in three North American *Pinus* species with contrasting needle length // Tree Physiology. 2002. Vol. 22, no. 11. P. 747–761.

139. Яворська В. К., Драговоз І. В., Крючкова Л. О., Курчій Б. О. Регулятори росту на основі природної сировини та їх застосування в рослинництві. Київ : Логос, 2006. 176 с.
140. Bomal C., Tremblay F.-M. Dried cryopreserved somatic embryos of two *Picea* species provide suitable material for direct plantlet regeneration and germplasm storage // *Annals of Botany*. 2000. Vol. 86, no. 1. P. 177–183. DOI: <https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1176>.
141. Dech J. P., Maun M. A. Adventitious root production and plastic resource allocation to biomass determine burial tolerance in woody plants from central Canadian coastal dunes // *Annals of Botany*. 2006. Vol. 98, no. 5. P. 1095–1105. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcl196>.
142. Пашкевич Н. А. Фенотипічна мінливість хвої видів роду *Pinus* L. на території України // Український ботанічний журнал. 2005. Т. 62, № 5. С. 657–665. URL: <https://nasplib.isoftware.kiev.ua/handle/123456789/163441>.
143. Kayama M., Quoreshi A. M., Uemura S., Koike T. Differences in growth characteristics and dynamics of elements absorbed in seedlings of three spruce species raised on serpentine soil in northern Japan // *Annals of Botany*. 2005. Vol. 95, no. 4. P. 661–672. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mci063>.
144. Jyske T., Hölttä T. Comparison of phloem and xylem hydraulic architecture in *Picea abies* stems // *New Phytologist*. 2015. Vol. 205, no. 1. P. 102–115. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.12973>.
145. Kurteva M., Gateva R. Influence of industrial and transport pollution on the plastid pigments of *Pinus sylvestris* L., *Picea abies* Karst. and *Thuja orientalis* L. // *Proceedings of the international jubilee conference marking the 70th anniversary of the Forest Research Institute*. Sofia, Bulgaria, 6–7 October 1998. Sofia : Forest Research Institute, 1998. P. 152–159.
146. Lindgren D. *Picea abies* breeding in Sweden is based on clone testing // *Dendrobiology*. 2009. Vol. 61, suppl. P. 79–82.
147. Liu C., Zhang S. Y. Equations for predicting tree height, total volume, and product recovery for black spruce (*Picea mariana*) plantations in northeastern

Quebec // The Forestry Chronicle. 2005. Vol. 81, no. 6. P. 808–814. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc81808-6>.

148. Москалик Г. Г., Костишин С. С. Морфофізіологічні особливості *Picea pungens* “Glausa” в умовах урбоекосистеми (на прикладі м. Чернівці) // Український ботанічний журнал. 2008. Т. 65, № 3. С. 437–444. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/UBJ_2008_65_3_13.

149. Niinemets U. Acclimation to low irradiance in *Picea abies*: influences of past and present light climate on foliage structure and function // Tree Physiology. 1997. Vol. 17, no. 11. P. 723–732.

150. Jansson G., Hansen J. K., Haapanen M. et al. The genetic and economic gains from forest tree breeding programmes in Scandinavia and Finland // Scandinavian Journal of Forest Research. 2017. Vol. 32, no. 4. P. 273–286. DOI: <https://doi.org/10.1080/02827581.2016.1242770>.

151. Tao J., Chen S., Qin C. et al. Somatic embryogenesis in mature zygotic embryos of *Picea pungens* // Scientific Reports. 2021. Vol. 11, no. 1. Article 19072. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98511-w>.

152. Ігнатенко В. А., Сотнікова А. В., Тарнопільський П. Б. та ін. Використання «Рокогуміну» для живцювання хвойних порід у декоративному розсаднику ДП «Тростянецьке ЛГ». Харків : УкрНДІЛГА, 2016. Вип. 129. С. 100–107.

153. Wood J. E., von Althen F. W. Establishment of white spruce and black spruce in boreal Ontario: effects of chemical site preparation and post-planting weed control // The Forestry Chronicle. 1993. Vol. 69, no. 5. P. 554–560. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc69554-5>.

154. He X., Kermode A. R. Programmed cell death of the megagametophyte during post-germinative growth of white spruce (*Picea glauca*) seeds is regulated by reactive oxygen species and the ubiquitin-mediated proteolytic system // Plant & Cell Physiology. 2010. Vol. 51, no. 10. P. 1707–1720. DOI: <https://doi.org/10.1093/pcp/pcq130>.

155. Humplík P., Čermák P., Žid T. Electrical impedance tomography for decay diagnostics of Norway spruce (*Picea abies*): possibilities and opportunities // *Silva Fennica*. 2016. Vol. 50, no. 1. Article 1341. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.1341>.
156. Insinna P., Jalkanen R., Götz B. Climate impact on 100-year foliage chronologies of Scots pine and Ponderosa pine in the northeast lowlands of Brandenburg, Germany // *Silva Fennica*. 2007. Vol. 41, no. 1. P. 605–620.
157. Kivimäenpää M., Riikonen J., Sutinen S., Holopainen T. Cell structural changes in the mesophyll of Norway spruce needles by elevated ozone and elevated temperature in open-field exposure during cold acclimation // *Tree Physiology*. 2014. Vol. 34, no. 4. P. 389–403. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpu023>.
158. Boratyńska K., Bobowicz M. A. Variability of *Pinus uncinata* Ramond ex DC. as expressed in needle traits // *Dendrobiology*. 2000. Vol. 45. P. 7–16.
159. Косенко Ю. І. Сучасний стан та агротехнологічні засади удосконалення декоративного розсадництва України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.03.01. Київ, 2015. 22 с.
160. Liber Z., Nikolić T., Mitić B. Intra- and interpopulation relationships and taxonomic status of *Pinus nigra* Arnold in Croatia according to morphology and anatomy of needles // *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. 2002. Vol. 71, no. 2. P. 141–147.
161. Mahoney S. R., Ghosh S., Peirson D., Dumbroff E. B. Paclobutrazol affects the resistance of black spruce to high light and thermal stress // *Tree Physiology*. 1998. Vol. 18, no. 2. P. 121–127.
162. Schmidt P. A. Beitrag zur Kenntnis der in Deutschland anbaufähigen Fichten (Gattung *Picea* A. Dietr.) // *Mitteilungen der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft*. 1991. No. 80. P. 7–72.
163. Biring B. S., Comeau P. G., Fielder P. Long-term effects of vegetation control treatments for release of Engelmann spruce from a mixed-shrub community in Southern British Columbia // *Annals of Forest Science*. 2003. Vol. 60, no. 7. P. 681–690. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:2003062>.

164. Boratyńska K., Muchewicz E., Drojma M. *Pinus mugo* Turra geographic differentiation based on needle characters // *Dendrobiology*. 2004. Vol. 51. P. 9–17.
165. Chrimes D., Lundqvist L., Atlegrim O. *Picea abies* sapling height growth after cutting *Vaccinium myrtillus* in an uneven-aged forest in northern Sweden // *Forestry*. 2004. Vol. 77, no. 1. P. 61–66. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/77.1.61>.
166. De Atri N., O'Reilly C. Germination response of alder and birch seeds to applied gibberellic acid and priming treatments in combination with chilling // *Annals of Forest Science*. 2007. Vol. 64, no. 4. P. 385–394. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:2007015>.
167. Duysens L. N. M., Ames J., Kamp B. M. Two photochemical systems in photosynthesis // *Nature*. 1961. Vol. 190. P. 510–511.
168. Edwards D. G. W. Role of the Pacific Forest Research Centre in testing tree seeds under international rules // *The Forestry Chronicle*. 1983. Vol. 59, no. 2. P. 67–69. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc59067-2>.
169. Fowler D. P. Rapid germination of white pine seed // *The Forestry Chronicle*. 1959. Vol. 35, no. 3. P. 17–24. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc35203-3>.
170. Namkoong G. Introduction to quantitative genetics in forestry. Technical Bulletin. United States Department of Agriculture, Forest Service. 1979. No. 1588. 342 p.
171. Niiranen J. Methods used in cutting propagation of forest trees in Finland // *Silva Fennica*. 1980. Vol. 14, no. 1. P. 59–62. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.a15011>.
172. Veinotte C., Freedman B., Maass W., Kirstein F. Comparison of the ground vegetation in spruce plantations and natural forest in the Greater Fundy ecosystem, New Brunswick // *The Canadian Field-Naturalist*. 2003. Vol. 117. P. 531–540.
173. Sedaghatthoor S., Kayghobadi S., Tajvar Y. Rooting of *Pinus mugo* cuttings as affected by IBA, NAA and planting substrate // *Forest Systems*. 2016. Vol. 25, no. 2. Article eSC08. DOI: <https://doi.org/10.5424/fs/2016252-09087>.

174. Iglesias-Díaz M. I., Lamosa S., Rodil C., Díaz-Rodríguez F. Root development of *Thuja plicata* in peat-substitute rooting media // *Scientia Horticulturae*. 2009. Vol. 122. P. 102–108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.04.005>.
175. Hartmann H. T., Kester D. E., Davies F. T., Geneve R. L. Hartmann & Kester's plant propagation: principles and practices. 10th ed. Boston : Pearson, 2018. 1024 p.
176. Lidholm J., Gustafsson P. A functional promoter shift of a chloroplast gene: a transcriptional fusion between a novel *psbA* gene copy and the *trnK*(UUU) gene in *Pinus contorta* // *The Plant Journal*. 1992. Vol. 2, no. 6. P. 875–886.
177. Houpis J. L. J., Surano K. A., Cowles S., Shinn J. H. Chlorophyll and carotenoid concentrations in two varieties of *Pinus ponderosa* seedlings subjected to long-term elevated carbon dioxide // *Tree Physiology*. 1988. Vol. 4, no. 2. P. 187–193.
178. Rosenthal S. I., Camm E. L. Photosynthetic decline and pigment loss during autumn foliar senescence in western larch (*Larix occidentalis*) // *Tree Physiology*. 1997. Vol. 17, no. 12. P. 767–775.
179. Savidge R. A. Porsild spruce in Canada – an update // *The Forestry Chronicle*. 2014. Vol. 90, no. 1. P. 105–107. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc2014-016>.
180. Verheggen F. J., Farmer R. E. Jr. Genetic and environmental variance in seed and cone characteristics of black spruce in a northwestern Ontario seed orchard // *The Forestry Chronicle*. 1983. Vol. 59, no. 4. P. 191–193. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc59191-4>
181. Silva Filho J. B., Ferreira A. R., McGiffen M. E. Jr. Interactive effects of root-promoting treatments and media on clonal propagation of two western pine species // *Plants*. 2026. Vol. 15, no. 2. Article 237. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants15020237>.
182. Szczotka Z., Lewandowska U. Polyamines in dormancy breaking of tree seeds // *Annals of Forest Science*. 1989. Vol. 46, suppl. P. 95–97. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:19890518>.

183. Abshahi M., García-Morote F. A., Zarei H. et al. Improvement of rooting performance in stem cuttings of *Juniperus sabina* L. as a function of IBA pretreatment, substrate, and season // *Forests*. 2022. Vol. 13, no. 10. Article 1705. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13101705>.
184. Chen W., Shan W., Niu T. et al. Insight into regulation of adventitious root formation by arbuscular mycorrhizal fungus and exogenous auxin in tea plant (*Camellia sinensis* L.) cuttings // *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. Article 1258410. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1258410>.
185. Skrøppa T., Tollefsrud M. M., Sperisen C., Johnsen Ø. Rapid change in adaptive performance from one generation to the next in *Picea abies*: Central European trees in a Nordic environment // *Tree Genetics & Genomes*. 2010. Vol. 6, no. 1. P. 93–99. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11295-009-0231-z>.
186. Tang X., Wang Z., Zong F. et al. Impact of naphthalene acetic acid and *Piriformospora indica* on *WOX* gene expression and rooting in woody ornamentals // *Scientia Horticulturae*. 2025. Vol. 350. Article 114330. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2025.114330>.
187. Kang J., Zhao W., Zhao M. et al. The type, position and age effect on the cutting reproduction of *Picea crassifolia* and its rooting mechanism in the Qilian Mountains // *Journal of Forestry Research*. 2015. Vol. 26, no. 4. P. 993–1002. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-015-0091-3>.
188. Adem M., Sharma L., Shekhawat G. S. et al. Auxin signaling, transport, and regulation during adventitious root formation // *Current Plant Biology*. 2024. Vol. 40. Article 100385. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2024.100385>.
189. Díaz-Sala C. A perspective on adventitious root formation in tree species // *Plants*. 2020. Vol. 9, no. 12. Article 1789. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9121789>.
190. Steffens B., Rasmussen A. The physiology of adventitious roots // *Plant Physiology*. 2016. Vol. 170, no. 2. P. 603–617. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.15.01360>.

191. Davies F. T. Jr., Hartmann H. T. The physiological basis of adventitious root formation // *Acta Horticulturae*. 1988. Vol. 227. P. 113–120. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1988.227.17>.
192. Miazek K., Ledakowicz S. Chlorophyll extraction from leaves, needles and microalgae: a kinetic approach // *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2013. Vol. 6, no. 2. P. 107–115.
193. Power H., Franceschini T., Schneider R. et al. Crown characteristics slightly improve lumber mechanical property models for black spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) // *The Forestry Chronicle*. 2016. Vol. 92, no. 2. P. 245–253. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc2016-043>.
194. Skuodienė L. Quantitative changes in amino acid proline and chlorophyll in the needles of *Picea abies* (L.) Karst. during stress and adaptation // *Biologija*. 2001. No. 2. P. 54–56.
195. Liu S., Li X., Xu L., Zhang G. Hormone functions in adventitious root formation during cutting propagation of woody plants // *Journal of Plant Research*. 2025. Vol. 138, no. 6. P. 907–914. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10265-024-01602-8>.
196. Debreczy Z., Rácz I. *Conifers around the world*. Budapest : DendroPress, 2011. 1089 p.
197. Druege U., Franken P., Hajirezaei M. R. Plant hormone homeostasis, signaling, and function during adventitious root formation in cuttings // *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7. Article 381. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00381>.
198. de Felice F. E. F., Dias-Araujo P. C., Pinheiro E. S., Vergara C. Mini-cutting technique for the propagation of a *Eucalyptus camaldulensis* clone selected in a semiarid region // *Forest Systems*. 2024. Vol. 33, no. 3. Article 20905. DOI: <https://doi.org/10.5424/fs/2024333-20905>
199. Oakes A. D., Pilkey H. C., Powell W. A. Improving ex vitro rooting and acclimatization techniques for micropropagated American chestnut // *Journal of Environmental Horticulture*. 2020. Vol. 38, no. 4. P. 149–157. DOI: <https://doi.org/10.24266/0738-2898-38.4.149>.

200. Vondráková Z., Krajňáková J., Fischerová L. et al. Physiology and role of plant growth regulators in somatic embryogenesis // Vegetative propagation of forest trees / eds. J. M. Bonga, H.-K. Moon. Seoul : National Institute of Forest Science, 2016. P. 123–169.
201. Zavattieri M. A., Ragonezi C., Klimaszevska K. Adventitious rooting of conifers: influence of biological factors // Trees. 2016. Vol. 30, no. 4. P. 1021–1032. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-016-1412-7>.
202. Younessi-Hamzekhanlu M., Razzak A., Jakuš R. Utilizing diverse propagation approaches to advance Norway spruce breeding and reforestation // Journal of Forestry Research. 2026. Vol. 37. Article 46. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-025-01983-z>.
203. Vâșcă-Zamfir D., Bălan D., Luță G., Gherghina E. Effect of rhizogenic biostimulators on *Rosmarinus officinalis* rooted cuttings biochemical composition // Scientific Papers. Series B, Horticulture. 2018. Vol. 62. P. 565–569.
204. Aziz R. R., Hama-Salih F. M., Noori I. M. Rooting of hardwood cuttings of quince (*Cydonia oblonga* L.) as influenced by IBA and rooting substrate // Kufa Journal for Agricultural Sciences. 2024. Vol. 16, no. 3. P. 24–40. DOI: <https://doi.org/10.36077/kjas/2024/v16i3.11298>.
205. Selby C., Kennedy S. J., Harvey B. M. R. Adventitious root formation in hypocotyl cuttings of *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. // New Phytologist. 1992. Vol. 120, no. 4. P. 453–457. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1992.tb01792.x>.
206. Abdulraahman Y. A., Ayoub M. Z. Effect of propagation dates, media and auxins treatments on rooting of *Cupressus macrocarpa* semi-hardwood cuttings // Kirkuk University Journal for Agricultural Sciences. 2023. Vol. 14, no. 3. P. 190–200. DOI: <https://doi.org/10.58928/ku23.14321>.
207. Sanz Gallego M., Gascón M. T., Esteban Pascual L. S. Optimization of vegetative propagation techniques for *Juniperus communis* L. under greenhouse conditions // International Journal of Plant Biology. 2025. Vol. 16, no. 2. Article 57. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijpb16020057>.

208. Zala Y. P., Masu M. M. Effect of IBA and growing media on root and shoot parameters of cuttings in *Ficus benjamina* // International Journal of Advanced Biochemistry Research. 2025. Vol. 9, special issue 8. P. 536–540. DOI: <https://doi.org/10.33545/26174693.2025.v9.i8Si.5203>.
209. Баденко А. С. Вплив індоліл-3-масляної кислоти на ризогенез живців (*Picea pungens* f. *glauca*) // Scientific Bulletin of UNFU. 2026. Vol. 36, no. 1. P. 15–21. DOI: <https://doi.org/10.36930/40360102>.
210. Badenko A. S. Effect of Rhizopon and naphthylacetic acid on rhizogenesis of *Picea pungens* f. *glauca* // Agriculture and Forestry. 2026. No. 1 (40). DOI: <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2026-1-15>.
211. Loconsole D., Sdao A. E., Cristiano G., De Lucia B. Different responses to adventitious rhizogenesis under indole-3-butyric acid and seaweed extracts in ornamental cuttings: first results in *Photinia* × *fraseri* ‘Red Robin’ // Agriculture. 2023. Vol. 13, no. 3. Article 513. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13030513>.
212. Martini A. N., Bertsouklis K., Vlachou G., Papafotiou M. Investigating the rooting of stem cuttings of five Mediterranean sage species (*Salvia* spp.), as a means for their wider exploitation in sustainable horticulture // Preprints.org. 2025. Article 202508.1298.v1. Posted 18 Aug. DOI: <https://doi.org/10.20944/preprints202508.1298.v1>
213. Bhatia N. P., Bhatia P., Ashwath N. Asexual propagation of *Stackhousia tryonii*: a step towards restoration of a rare metallophyte // Australian Journal of Botany. 2002. Vol. 50, no. 5. P. 577–582. DOI: <https://doi.org/10.1071/BT01035>.
214. Lone R. A., Wani B. U. I., Gani G. et al. Effect of indole-3-butyric acid and time of stem cuttings on rhizogenesis of *Cupressus macrocarpa* cv. Goldcrest // International Journal of Research in Agronomy. 2025. Vol. 8, no. 12, part F. P. 380–384. DOI: <https://doi.org/10.33545/2618060X.2025.v8.i12f.4394>.
215. OuYang F., Wang J., Li Y. Effects of cutting size and exogenous hormone treatment on rooting of shoot cuttings in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) // New Forests. 2015. Vol. 46, no. 1. P. 91–105. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-014-9449-1>.

216. Trueman S. J., Hung C. D., Wendling I. Propagation of forest trees by stem cuttings: effects of plant growth regulators // *Forests*. 2021. Vol. 12, no. 3. Article 311. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12030311>.
217. Stuepp C. A., Wendling I., Trueman S. J. Adventitious rooting in forest trees: physiological and environmental factors // *Forests*. 2022. Vol. 13, no. 3. Article 412. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13030412>.
218. Dharani J., Rajangam J., Beaulah A. et al. Standardization of length of cuttings and auxin levels on root and shoot growth of dragon fruit (*Hylocereus undatus* L.) // *International Journal of Environment and Climate Change*. 2023. Vol. 13, no. 10. P. 2709–2717. DOI: <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i102935>.
219. Wang G., Guan S. L., Zhu N. et al. Comprehensive genomic analysis of SnRK in Rosaceae and expression analysis of RoSnRK2 in response to abiotic stress in *Rubus occidentalis* // *Plants*. 2023. Vol. 12, no. 9. Article 1784. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12091784>.
220. Varssini R., Suresh V., Jenita Thinakaran, Kalaiarasi J. P. Impact of IBA, NAA and rooting media on morphological parameters of stem cuttings in fig (*Ficus carica* L.) // *Journal of Experimental Agriculture International*. 2025. Vol. 47, no. 4. P. 215–225. DOI: <https://doi.org/10.9734/jeai/2025/v47i43371>.
221. Nale R., Sharma G., Pal R. et al. Effect of IBA and NAA on the rooting and vegetative growth of hardwood cuttings in *Ficus carica* L. // *International Journal of Bio-resource and Stress Management*. 2024. Vol. 15. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.23910/1.2024.2928a>.
222. Blada I., Panea T. Improvement of grafting procedures for the ornamental species: I. *Picea pungens* Engelm. var. *glauca* Regel // *Annals of Forest Research*. 2011. Vol. 54, no. 2. P. 185–196.
223. Hodson M. J., Sangster A. G. Mineral deposition in the needles of white spruce [*Picea glauca* (Moench.) Voss] // *Annals of Botany*. 1998. Vol. 82, no. 3. P. 375–385. DOI: <https://doi.org/10.1006/anbo.1998.0694>.
224. Girouard R. M. Propagation of spruce by stem cuttings // *New Zealand Journal of Forestry Science*. 1974. Vol. 4, no. 2. P. 140–149. URL:

https://www.scionresearch.com/_data/assets/pdf_file/0004/58783/NZJFS421974GIROUARD140_149.pdf.

225. El-Banna M. F., Farag N. B. B., Massoud H. Y., Kasem M. M. Exogenous IBA stimulated adventitious root formation of *Zanthoxylum beecheyanum* K. Koch stem cutting: histo-physiological and phytohormonal investigation // *Plant Physiology and Biochemistry*. 2023. Vol. 197. Article 107639. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107639>.

226. Ludwig-Müller J. Indole-3-butyric acid in plant growth and development // *Plant Growth Regulation*. 2000. Vol. 32. P. 219–230.

227. Sekhukhune M. K., Maila Y. M. Growth regulator indole-3-butyric acid on rooting potential of *Actinidia deliciosa* rootstock and *Actinidia arguta* female scion species stem cuttings // *Horticulturae*. 2025. Vol. 11, no. 1. Article 53. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae11010053>.

228. Druege U., Hilo A., Pérez-Pérez J. M. et al. Molecular and physiological control of adventitious rooting in cuttings: phytohormone action meets resource allocation // *Plants*. 2020. Vol. 9, no. 7. Article 874. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9070874>.

229. Salaš P., Sasková H., Mokříčková J., Litschmann T. Evaluation of different types of rooting stimulators // *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2012. Vol. 60, no. 8. P. 217–228. DOI: <https://doi.org/10.11118/actaun201260080217>.

230. Clonex rooting gel // Growth Technology Ltd. URL: <https://www.growthtechnology.com/product/clonex/> (дата звернення: 15.04.2026).

231. Badenko A. Influence of clonex and indole-3-butyric acid on the rhizogenesis of *Picea pungens* f. *glauca* cuttings // *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. 2026. Vol. 30, no. 1. P. 33–43. DOI: <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/1.2026.33>.

232. Kycheryavyi V. S., Popovych V. V. Esthetic assessment of the ornamental forms of northern white cedar (*Thuja occidentalis* L.) and their use in

garden and park compositions // Journal of Agricultural Sciences (Belgrade). 2023. Vol. 68, no. 3. P. 315–328. DOI: <https://doi.org/10.2298/JAS2303315K>.

233. Dementieva O. I., Lavrys V. Yu. Specificity of using ornamental shrubs in planting areas for different purposes under conditions of southern Ukraine // Tavriiskyi naukovi visnyk. Serii: Silskohospodarski nauky. 2023. No. 130. P. 436–442. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2023.130.60>

ДОДАТКИ

Додаток А

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Баденко, А. С. (2026). Вплив індоліл-3-масляної кислоти на ризогенез живців (*Picea Pungens* F. *Glauca*). Scientific Bulletin of UNFU, 36(1), 15-21. <https://doi.org/10.36930/40360102>

2. Badenko, A. S. (2026). Effect of Rhizopon and naphthylacetic acid on rhizogenesis of *Picea pungens* f. *glauca*. Agriculture and Forestry, no. 1 (40). <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2026-1-15>

3. Badenko, A. (2026). Influence of clonex and indole-3-butyric acid on the rhizogenesis of *Picea pungens* f. *glauca* cuttings. Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science, 30(1), 33-43. <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/1.2026.33>

Тези наукових доповідей:

4. Баденко А.С. Особливості генеративних процесів у ялини колючої (*Picea pungens* ENGELM.) Міжнар. наук.-практ. онлайн-конф., присвячена 100-річчю з дня народження професора В.І. Білоуса (Умань – Томашув-Мазовецький, 24.04.2025). Умань: Університет Університету Північної Кароліни, 2025. С. 31-32.

5. Баденко А.С. Особливості та методи розмноження ялини колючої (*Picea pungens* Engelm.): матер. Всеукр. наук.-практ. конф. (30 жовтня 2025 року) / Редкол. Поліщук В.В. (відп. ред.) та ін. Умань. ВПЦ «Візаві». 2025. С. 109-112.

6. Баденко А.С., Коваль С.А. Огляд сучасних методів оптимізації вегетативного розмноження *Picea pungens* *Glauca* в умовах декоративного розсадництва: матер. Наук.-практ. Інтер. конф. (20 листопада 2025 року), Умань: УНУ 2025 С. 6-8.

7. Баденко А. С. Вплив індоліл-3-масляної кислоти (50 мг/л) на ризогенез живців ялини колючої форми Блакитної (*Picea pungens* f. *Glauca*). Advanced Technologies in Scientific Research: Collection of Scientific Papers with Proceedings

of the 3rd International Scientific and Practical Conference. International Scientific Unity. February 25-27, 2026 p., Rotterdam, Netherlands. P. 121-122.

8. Баденко А. С. Адаптаційний потенціал *Picea pungens* F. *Glauca* в умовах Правобережного Лісостепу України. Modern Challenges in Economic and Technological Innovation: Collection of Scientific Papers with Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference. International Scientific Unity. Bologna, Italy. March 4-6, 2026. P. 93-95.

9. Баденко А.С. Вплив індоліл-3-масляної кислоти (100 мг/л) на ризогенез живців ялини колючої форми блакитної (*Picea pungens* f. *glauca*) Міжнар. наук. конф. «Forest Sector Transformation towards Ukraine's Post-War Green Rebuilding: Meeting Changing Demands for Professionals», 19-20 березня 2026 р., Київ, Україна 2026. С 123-125.

ДОДАТОК Б

ДВОФАКТОРНИЙ ДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ

Дослід І: Вихід укорінених стеблових живців ялини колючої форма блакитна залежно від тривалості та концентрації оброблення ІМК (дані за 2023 р.)

Одиниця вимірювання даних, шт.

Варіантів – 12, повторностей – 4

Таблиця Б. 1

Початкові дані

A	B	Середнє	Повторності			
1	1	2.00	1.00	3.00	2.00	2.00
1	2	2.00	1.00	3.00	2.00	2.00
1	3	2.00	1.00	3.00	2.00	2.00
2	1	2.75	3.00	1.00	3.00	4.00
2	2	4.00	5.00	4.00	3.00	4.00
2	3	5.00	5.00	6.00	4.00	5.00
3	1	6.00	6.00	5.00	7.00	6.00
3	2	8.00	7.00	8.00	9.00	8.00
3	3	6.00	5.00	6.00	7.00	6.00
4	1	8.25	9.00	8.00	7.00	9.00
4	2	6.25	7.00	5.00	8.00	5.00
4	3	2.00	1.00	3.00	2.00	2.00

Середнє по досліді – 4.52 шт.

Середнє по фактору А

A	Середнє
1	2.00
2	3.92
3	6.67
4	5.50

Середнє по фактору В

В	Середнє
1	4.75
2	5.06
3	3.75

Таблиця дисперсій

Дисперсія	Сума квадратів	Степені вільності	Середній квадрат	F
Загальна	281.98	47	-	-
Повторень	1.23	3	-	-
Фактора А	147.40	3	49.13	52.27
Фактора В	15.04	2	7.52	8.00
Фактора АВ	87.29	6	14.55	15.48
Залишку	31.02	33	0.94	-

Таблиця впливів і НІР

Фактор	Сила впливу	НІР
А	0.52	0.80
В	0.05	0.69
АВ	0.31	1.38
Залишку	0.11	-

Точність дослідів – 10,72 %

Варіація даних – 54,18 %

ДОДАТОК В

ДВОФАКТОРНИЙ ДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ

Дослід 2: Вихід укорінених стеблових живців ялини колючої форма блакитна залежно від тривалості та концентрації оброблення НОК (дані за 2023 р.)

Одиниця вимірювання даних, шт.

Варіантів – 12, повторностей – 4

Таблиця В.1

Початкові дані

A	B	Середнє	Повторності			
1	1	2.25	2.00	2.00	3.00	2.00
1	2	2.25	2.00	2.00	3.00	2.00
1	3	2.25	2.00	2.00	3.00	2.00
2	1	2.00	2.00	2.00	1.00	3.00
2	2	2.75	4.00	3.00	2.00	2.00
2	3	4.00	5.00	4.00	3.00	4.00
3	1	5.00	4.00	5.00	6.00	5.00
3	2	6.00	6.00	7.00	5.00	6.00
3	3	4.75	5.00	5.00	4.00	5.00
4	1	7.75	8.00	7.00	8.00	8.00
4	2	5.00	6.00	5.00	4.00	5.00
4	3	1.25	1.00	2.00	1.00	1.00

Середнє по досліді – 3.77 шт.

Середнє по фактору А

A	Середнє
1	2.25
2	2.92
3	5.25
4	4.67

Середнє по фактору В

В	Середнє
1	4.25
2	4.00
3	3.06

Таблиця дисперсій

Дисперсія	Сума квадратів	Степені вільності	Середній квадрат	F
Загальна	186.48	47	-	-
Повторень	0.73	3	-	-
Фактора А	72.40	3	24.13	48.20
Фактора В	12.54	2	6.27	12.53
Фактора АВ	84.29	6	14.05	28.06
Залишку	16.52	33	0.50	-

Таблиця впливів і НІР

Фактор	Сила впливу	НІР
А	0.39	0.58
В	0.07	0.50
АВ	0.45	1.01
Залишку	0.09	-

Точність дослідів – 9,38%

Варіація даних – 52,82 %

ДОДАТОК Г

ОДНОФАКТОРНИЙ ДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ

Дослід 3: Вихід укорінених живців *Picea pungens* f. *glauca* залежно від препарату Rhizorop та концентрації НОК (2023)

Одиниця вимірювання даних, шт

Варіантів - 7, повторностей - 4

Таблиця Г.1

Початкові дані

Варіант	Середнє	Повторність			
1	1.75	3.00	2.00	2.00	1.00
2	6.00	5.00	7.00	6.00	6.00
3	4.00	4.00	3.00	5.00	4.00
4	1.25	1.00	2.00	1.00	1.00
5	8.25	8.00	9.00	7.00	9.00
6	10.75	11.00	10.00	11.00	11.00
7	4.25	5.00	3.00	4.00	5.00

Середнє по досліді 5.18 шт.

Таблиця дисперсій

Дисперсія	Сума квадратів	Ступені вільності	Середній квадрат	F
Загальна	296,11	27	-	-
Повторень	0.39	3	-	-
Варіантів	282.36	6	47.06	63.42
Залишку	13.36	18	0.74	-

Похибка середньої - 0.43 Похибка різниці середніх – 0.61

НІР – 1.28 шт. або 24.70 %

Сила впливу фактору - 0,95

Похибка досліді –8.32 % варіація даних –63.95%

ДОДАТОК Д

ОДНОФАКТОРНИЙ ДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ

Дослід 1: Вихід укорінених живців *Picea pungens* f. *glauca* залежно від препарату Clonex та концентрації ІМК, шт. (дані за 2023 рік)

Одиниця вимірювання даних, шт

Варіантів - 7, повторностей - 4

Таблиця Д.1

Початкові дані

Варіант	Середнє	Повторність			
1	1.25	1.00	2.00	1.00	1.00
2	8.50	8.00	9.00	9.00	8.00
3	8.00	7.00	8.00	9.00	8.00
4	2.75	3.00	3.00	2.00	3.00
5	8.75	8.00	9.00	9.00	9.00
6	11.50	11.00	12.00	11.00	12.00
7	5.75	5.00	6.00	6.00	6.00

Середнє по досліді – 6.64 шт.

Таблиця дисперсій

Дисперсія	Сума квадратів	Ступені вільності	Середній квадрат	F
Загальна	320.43	27	-	-
Повторень	2.71	3	-	-
Варіантів	313.43	6	52.24	219.40
Залишку	4.29	18	0.24	-

Похибка середньої – 0.24 Похибка різниці середніх – 0.35

НІР – 0.72 шт. або 10.91%

Сила впливу фактору – 0.98

Похибка досліді – 3.67% Варіація даних – 51.86%

ДОДАТОК Е 1

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

В.о. ректора Уманського національного
університету
доцент

Олена ЯРОШИНСЬКА
« 05 » 05 2026 р.

«ПОГОДЖЕНО»

Проректор з наукової та інноваційної
діяльності
професор

Віктор КАРПЕНКО
« 05 » 05 2026 р.

АКТ впровадження результатів дисертаційної роботи у навчальний процес

Даним актом стверджується, що результати дисертаційної роботи Баденка Андрія Сергійовича за темою: «Особливості вирощування саджанців ялини колючої (форма блакитна) з стеблових живців у Правобережному Лісостепу України» впроваджені у навчальний процес кафедри лісового господарства факультету біоресурсів і природокористування Уманського національного університету.

Вид впровадження – отримані результати використані при викладанні навчальних дисциплін «Озеленення населених місць», «Лісівництво», «Лісові культури», «Лісові розсадники».

Новизна результатів науково-дослідницької роботи – обґрунтовано технологічні параметри живцювання ялини колючої (форма блакитна) в умовах Правобережного Лісостепу України. Встановлено оптимальні концентрації дії стимуляторів росту на показники формування кореневої системи та надземного приросту.

В. о. декана факультету біоресурсів і
природокористування,
кандидат с.-г. наук, доцент

Завідувач кафедри лісового
господарства,

Ірина КОЗАЧЕНКО

Світлана АДАМЕНКО

ДОДАТОК Е 2

«ПОГОДЖЕНО»
В.о. ректора Уманського
національного університету
Олена ЯРОШИНСЬКА
«05» 05 2026 р.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
В.о. директора Національного
дендрологічного парку «Софіївка» –
НДІ НАН України
Володимир ГРАБОВИЙ
«05» 05 2026 р.

АКТ

впровадження науково-дослідницької роботи у виробництво

Цим актом стверджується, що результати науково-дослідницької роботи Баденка Андрія Сергійовича за темою: «Особливості вирощування саджанців ялини колючої (форма блакитна) з стеблових живців у Правобережному Лісостепу України», виконаної в Уманському національному університеті, впроваджено в діяльність Національного дендрологічного парку «Софіївка» – НДІ НАН України.


Вид впровадження – розроблена технологічна схема вегетативного розмноження та вирощування ялини колючої (форма блакитна) в умовах Правобережного Лісостепу України.

Характеристика масштабів впровадження – державні та приватні декоративні розсадники.

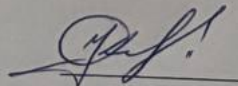
Новизна результатів науково-дослідної роботи – визначено оптимальні концентрації та експозиції дії стимуляторів росту (ІМК, Clonex), які забезпечують максимальний вихід укорінених живців та формування кореневої системи ялини колючої.

Соціальний і науково-технічний ефект – аналіз показників ризогенезу в Національному дендрологічному парку «Софіївка» – НДІ НАН України встановив що найбільшу ефективність для розмноження ялини колючої (форма блакитна) забезпечує застосування препарату Clonex та ІМК у концентрації 150 мг/л за 6-годинного замочування. Встановлення даного факту дозволить застосувати правильні методи вегетативного розмноження для отримання декоративного садивного матеріалу.

Аспірант кафедри лісового
господарства

 Андрій БАДЕНКО

Науковий керівник:
Доцент кафедри лісового
господарства,
кандидат с.-г. наук

 Сергій КОВАЛЬ

ДОДАТОК Е 3

«ПОГОДЖЕНО»

В.о. ректора Уманського національного
університету

Олена ЯРОШИНСЬКА
05 2026 р.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Начальник Звенигородського
надлісництва філії «Центральний
лісовий офіс» ДП «Ліси України»

Олександр ДУШКО
05 2026 р.

АКТ

впровадження науково-дослідницької роботи у виробництво

Цим актом стверджується, що результати науково-дослідницької роботи Баденка Андрія Сергійовича за темою: «Особливості вирощування саджанців ялини колючої (форма блакитна) з стеблових живців у Правобережному Лісостепу України», виконаної в Уманському національному університеті, впроваджено в діяльність Звенигородського надлісництва філії «Центральний лісовий офіс» ДП «Ліси України».

Вид впровадження – розроблена технологічна схема вегетативного розмноження та вирощування ялини колючої (форма блакитна) в умовах Правобережного Лісостепу України.

Характеристика масштабів впровадження – державні та приватні декоративні розсадники.

Новизна результатів науково-дослідної роботи – визначено оптимальні концентрації та експозиції дії стимуляторів росту (НОК, Rhizopon), які забезпечують максимальний вихід укорінених живців та формування кореневої системи ялини колючої.

Соціальний і науково-технічний ефект – аналіз показників ризогенезу у Звенигородському надлісництві філії «Центральний лісовий офіс» ДП «Ліси України» показав, що найбільшу ефективність для розмноження ялини колючої (форма блакитна) забезпечує застосування препарату Rhizopon та НОК у концентрації 150 мг/л за 6-годинного замочування. Встановлення даного факту дозволить застосувати правильні методи вегетативного розмноження для отримання декоративного садивного матеріалу.

Аспірант кафедри лісового
господарства

Андрій БАДЕНКО

Науковий керівник:
Доцент кафедри лісового
господарства,
кандидат с.-г. наук

Сергій КОВАЛЬ

ДОДАТОК 3

Сільська школа с. Доброводи



Рис. 3.1 Структура посадки ялин біля навчального закладу