



А. С. Баденко

Уманський національний університет, м. Умань, Україна

ВПЛИВ ІНДОЛІЛ-3-МАСЛЯНОЇ КИСЛОТИ НА РИЗОГЕНЕЗ ЖИВЦІВ (*PICEA PUNGENS* F. *GLAUCA*)

Вегетативне розмноження ялини коллочої форми блакитної (*Picea pungens* Engelm.) способом живцювання є основним методом збереження цінних декоративних ознак. Її широке застосування у розсадницькій справі обмежується тільки через низьку здатність до вегетативного розмноження. Визначено закономірності впливу різних концентрацій ІМК (індоліл-3-масляна кислота) та тривалості оброблення живців на ефективність ризогенезу у *Picea pungens* f. *glauca*. Дослідження виконано у 2024-2025 рр. за двофакторною схемою, з використанням водних розчинів ІМК з концентрацією 50, 100 і 150 мг/л та тривалістю замочування 6, 12 і 24 годин. Кожен варіант дослідження мав чотири повторності по 30 живців. Встановлено, що контрольний варіант (без оброблення стимулятором) мав найнижчий рівень укорінення – у середньому 1,5 живці або 5,08 %, що підтверджує обмеженість до регенераційного процесу досліджуваного виду. Потрібно зазначити, що в разі застосування концентрації ІМК 50 мг/л та зі збільшенням часу оброблення живців, спостерігалася поступова позитивна динаміка вкорінення: від 2,5 живців, що становить 7,91 % від загальної кількості з тривалістю оброблення 6 год., до 5,5 живців або 18,75 % з тривалістю оброблення 24 години. Використання ІМК з концентрацією 100 мг/л значно підвищило ефективність ризогенезу, за 12-годинного замочування вкорінилася найбільша кількість живців, для даного дозування стимулятора, в середньому 7,5 живців або 25 %, тоді як збільшення часу замочування до 24 год. призводить до зниження показника вкорінення, 6,5 живців або 21,25 %. Максимальний рівень укорінення за період досліджень встановлено в разі використання ІМК у концентрації 150 мг/л під час 6-годинного оброблення – в середньому 9,0 живців або 30,83 %. Водночас, подовження тривалості замочування за такої концентрації призводило до гірших результатів: за 12-годинного замочування кількість укорінених живців зменшилася до 6,5 або 21,66 %, а за 24-годинного замочування – до 2,0 живців або 7,08 %, що практично тотожне з контрольним показником. Отримані результати свідчать про існування чітких раціональних меж гормонального оброблення, перевищення яких спричиняє пригнічення ризогенезу. Результати дослідження мають практичне значення, оскільки воно встановлює ефективні режими використання ІМК для підвищення продуктивності вегетативного розмноження *Picea pungens* f. *glauca* у розсадницькій діяльності.

Ключові слова: вегетативне розмноження; стимулятор росту; адвентивне коренеутворення; ауксини; тривалість експозиції.

Вступ / Introduction

Ялина коллоча форми блакитної (*Picea pungens* Engelm. f. *glauca*) є однією з найбільш затребуваних декоративних хвойних рослин у світовому садівництві та ландшафтному дизайні. Її популярність є наслідком високої естетичної цінності: густа, конічна крона та неповторний сріблясто-блакитний колір хвої. Цю рослину часто застосовують у формуванні ландшафтних композицій, а також вона є популярним різдвяним деревом [19]. Значний попит на саджанці з чітко вираженими сортовими характеристиками формує надійний ринок для розсадників.

Однак серйозні проблеми супроводжують розмноження цієї культури. Ялина коллоча є перехреснозапильною рослиною і має високий рівень генетичної гетерозиготності. Тому генеративне розмноження не може забезпечити збереження сортових властивостей *Picea pungens* f. *glauca* у насінневого потомства, оскільки під час генеративного розмноження ознаки розщеплюють-

ся, і тільки невелика кількість сіянців успадковує бажаний інтенсивний блакитний колір хвої [4, 17]. Отже, насінневий метод є непридатним для комерційного вирощування високоякісного й однорідного садивного матеріалу.

Єдиним надійним методом отримання рослин, які повністю ідентичні материнському екземпляру, є вегетативне (клональне) розмноження. Найвідомішим способом розмноження хвойних є живцювання. Проте ялина, як і численні інші представники родини *Pinaceae*, належить до видів, які важко укорінюються [4, 17]. Процес формування додаткових (адвентивних) коренів у її живцях проходить повільно, нерівномірно, а частка успішного вкорінення зазвичай є низькою. Це формує істотний економічний і технологічний бар'єр для розсадників, оскільки низька приживлюваність робить виробництво деяких цінних сортів у промислових обсягах недоцільним [9].

Вегетативне розмноження ялини коллочої, як й інших хвойних рослин, залежить від багатьох взаємопо-

© Copyright 2026 by the author(s)

Баденко Андрій Сергійович, аспірант, кафедра лісового господарства.

Email: andriybadenko55@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0006-7990-8338>

Цитування за ДСТУ: Баденко А. С. Вплив індоліл-3-масляної кислоти на ризогенез живців (*Picea pungens* f. *glauca*). Науковий вісник НЛТУ України. 2026, т. 36, № 1. С. 15–21.

Citation APA: Badenko, A. S. (2026). Effect of indolyl-3-butyric acid on root formation of Colorado blue spruce cuttings. *Scientific Bulletin of UNFU*, 36(1), 15–21. <https://doi.org/10.36930/40360102>

в'язаних факторів. Якість вихідного матеріалу є першочерговим і часто визначальним фактором для остаточного результату, а також вік материнської рослини, адже з віком здатність живців до ризогенезу стрімко знижується [18].

Плагіотропний ріст – особлива і надзвичайно серйозна проблема, пов'язана з живцюванням хвойних. Після вкорінення живці з бічних гілок ростуть горизонтально, як гілка, а не вертикально, як дерево. Це знижує декоративну та господарську цінність рослини. Плагіотропізм у живцях материнської рослини посилюється з віком [15].

Фізичні властивості субстрату мають важливе значення. Він має бути стерильним, щоб уникнути розвитку грибкових інфекцій, які можуть легко вражати ослаблені живці. Субстрат має утримувати достатньо вологи, але також бути добре дренажним, щоб забезпечити надходження кисню до основи живця, який потрібний для клітинного дихання та поділу. Успіх залежить від створення та підтримки правильного мікроклімату. Живець дуже вразливий до висихання, тому потрібно забезпечувати дуже високу відносну вологість повітря (понад 95 %). Температура субстрату має перевищувати температуру повітря. Рациональна температура в місці, де буде формуватися коріння, має становити 21-22 °C (70-72 °F). Це пришвидшує метаболічну активність і поділ клітин, що формують основу живця [7, 9].

Отже, постає актуальне науково-практичне завдання: удосконалити технології вегетативного розмноження *Picea pungens* f. *glauca*, які забезпечували б стабільно високі темпи їх укорінення. Застосування екзогенних стимуляторів росту, зокрема – фітогормонів ауксинового ряду, допомагає у вирішенні цієї проблеми. Для теоретичного обґрунтування актуальності проведення нашого дослідження проаналізовано наукові дані про чинники, що впливають на ризогенез живців ялини колючої, особливо з використанням індоліл-3-масляної кислоти (ІМК) [10, 19].

Об'єкт дослідження – процес вегетативного розмноження *Picea pungens* Engelm. f. *glauca* способом живцювання.

Предмет дослідження – методи і засоби виявлення особливостей впливу зовнішнього оброблення різними концентраціями ІМК та тривалості замочування на інтенсивність вкорінення живців *Picea pungens* Engelm. f. *glauca*.

Мета роботи – визначити закономірності впливу різних концентрацій ІМК та тривалість оброблення живців *Picea pungens* Engelm. f. *glauca* на ефективність ризогенезу, що дасть можливість подолати природну резистентність тканин до вкорінення, не ризикуючи завдати їм фітотоксичної шкоди.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- проаналізувати літературу щодо ризогенезу та особливостей вегетативного розмноження живців хвойних порід, що дасть змогу аргументовано довести практичну значущість застосування ІМК для збільшення ефективності ризогенезу у живців хвойних порід.
- дослідити, як різні концентрації ІМК та різні часові параметри експозиції впливають на вкорінення живців ялини колючої та утворення адвентивних коренів, що дасть можливість визначити найефективніші концентрації та тривалість оброблення для збільшення результативності укорінення живців.

- встановити взаємодію концентрації ІМК та тривалості замочування на показники вкорінення живців, що забезпечить підвищення рівня укорінення та зменшення коливань показників між дослідними групами.
- визначити раціональні параметри використання ІМК для підвищення ефективності вегетативного розмноження *Picea pungens* f. *glauca*, які уможливають збільшення отриманого садивного матеріалу на базі лісових та декоративних розсадників.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження фахової літератури останніх років показують, що ефективність живцювання ялини колючої істотно залежить від використання екзогенних стимуляторів росту. Китайські дослідники [11] пропонують детальніший фізіологічний аналіз дії ІМК на хвойні породи. Вони провели дослідження ендогенних змін у живцях, спричинених екзогенним обробленням, і виявили, що ІМК може спричинити зміни вуглеводного обміну. Їхні висновки свідчать про те, що застосування ІМК пришвидшує переміщення розчинних цукрів із хвої в зону калусоутворення. Це забезпечує сам процес ризогенезу потрібною енергією. Окрім цього, дослідження [13] доводять, що ІМК досить позитивно впливає на вкорінення живців, у досліді проводився експеримент з укоріненню вітелларії дивовижної (*Vitellaria paradoxa*), за 24-годинного замочування в розчині ІМК 100 мг/л, частка приживлюваності становила 59,5 %. Що доводить ефективність дії досліджуваного стимулятора.

У межах аналізу сучасних наукових напрацювань особливу увагу привертають дослідження [10], яке розглядає вплив індоліл-3-масляної кислоти (ІМК) на вкорінення живців *Zanthoxylum beecheyanum* – деревного виду, що також має низьку природну здатність до адвентивного коренеутворення. Автори виявили, що використання ІМК значно збільшувало ризогенетичну активність живців порівняно з контролем, а загальна частка укорінених живців у оброблених гормонально варіантах становила у середньому приблизно 51,1 %.

У сучасній науці особливу увагу звертають на явище синергізму – підсилення ефекту ІМК іншими речовинами. Дослідники El-Sallami та ін. [6] досліджували комбінований вплив ІМК і антиоксидантів (зокрема, аскорбінової кислоти) або фенольних сполук. Їхні дослідження показали, що додавання ко-факторів до розчину ІМК запобігає швидкому окисленню ауксину в рослинних тканинах, подовжуючи його стимулятивну дію, що є критично важливим для хвойних видів із тривалим періодом калусоутворення (який у *Picea pungens* може тривати до 3-4 місяців).

Істотним елементом, на який вказують дослідники зі США [3], є залежність результативності ІМК від генотипу та вікового стану материнської рослини. У своїх оглядових публікаціях вони звертають увагу на те, що різні сорти ялини колючої (*Hoopsii* та *Glauca Globosa*) по-різному реагують на однакові дози стимулятора. Науковці наголошують, що рослини зі щільною деревиною та повільним ростом потребують вищої концентрації ІМК у взаємодії з розчинниками, які містять диметилсульфоксид для кращого проникнення крізь здерев'янілі тканини. Окрім цього, вони зазначають про проблему плагіотропізму, або горизонтального росту вкорінених живців. Вони стверджують, що ІМК стимулює утворення коренів, але не вирішує проблеми подальшого формування вертикального пагона, для якого потрібні додаткові агротехнічні заходи.

Отже, проведений аналіз останніх досліджень та публікацій вказує на важливу біологічну активність ІМК та її ключову роль у стимуляції формування адвентивних коренів у різних видах дерев. Водночас, переважна більшість наявних досліджень зосереджена на листяних породах, тоді як наукові дані про хвойні, зокрема *Picea pungens* f. *glauca*, є неповною мірою представлені і часто не враховують взаємозв'язку між концентрацією ІМК та тривалістю замочування живців. Однак у науковій літературі майже немає узагальнених досліджень, які відзначають результати впливу комбінації цих чинників на інтенсивність укорінення та стабільність результатів у різних варіантах досліді. Це визначає важливість і необхідність здійснення цього дослідження, яке орієнтоване на експериментальне підтвердження параметрів використання ІМК задля покращення ефективності вегетативного розмноження *Picea pungens* f. *glauca* за умов декоративного розсадництва.

Матеріали та методи дослідження. Для вивчення особливостей вегетативного розмноження ялини колючої форми блакитної було проведено експериментальне дослідження у розсаднику Уманського національного університету. Процес укорінення живців досліджували в умовах захищеного ґрунту. Відбір живців та їх укорінення проводили за методикою Girouard [7].

Заготівля живців відбувалася з молодих дерев віком від 5 до 8 років, оскільки згідно з рекомендаціями, зібрані з дерев до 10 років живці показують кращу регенераційну здатність, ніж з дерев старшого віку. Відбір пагонів відбувався з верхньої частини крони.

У дослідженні використовували напівздерев'янілі живці завдовжки 10-12 см. Живці використовували без п'ятки. Заготівля живців без п'ятки ґрунтувалася на класичних підходах, у яких описано живці як із п'яткою, так і без неї, із зазначенням, що додаткові складнощі при виготовленні живців із п'яткою не завжди виправдані [7]. Для стимулювання ризогенезу застосовували водний розчин ІМК. Схему дослідження було розроблено як двофакторний експеримент, який охоплював три варіанти концентрації ІМК – 50, 100 і 150 мг/л, а також три варіанти тривалості замочування – 6, 12 та 24 годин. Як контроль використали оброблення водою.

Висаджування проводили в субстрат, який складався із суміші піску та верхового торфу у співвідношенні 1:1. Температура повітря утримувалася в межах (25-30 °C). Кожна повторність досліді містила 30 живців. Загалом було закладено 120 живців у кожному варіанті. У контрольному варіанті живці висаджували без оброблення ІМК. Статистичне оброблення результатів досліді проведено за допомогою дисперсійного аналізу.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Діаграма (рисунок) ілюструє результати досліді укорінення живців ялини колючої (*Picea pungens* Engelm.) за різних концентрацій індолил-3-масляної кислоти (ІМК) та тривалості замочування, що дає змогу інтерпретувати отримані дані як частку від потенційно можливого максимуму приживлюваності.

Результати можна розглядати як частку від потенційно можливого максимуму приживлюваності. Подібна структура діаграми дає можливість об'єктивно визначити ефективність кожного варіанта та уникнути візуального перебільшення результатів.

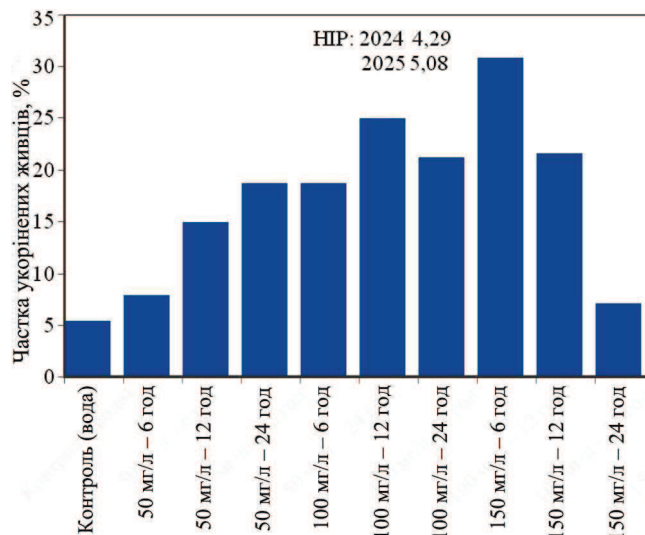


Рисунок. Вихід укорінених живців ялини колючої, залежно від концентрації ІМК та тривалості замочування (середнє за 2024-2025 рр.). / Rooting of prickly spruce cuttings, depending on the concentration of IBA and the duration of soaking (average for 2024-2025)

З діаграми помітно, що контрольний варіант має найнижчий рівень укорінення – 5,41 %. Це демонструє, що живці ялини колючої мають низьку природну здатність до формування адвентивних коренів без використання регуляторів росту. Це вказує на необхідність застосування ауксинів у методах вегетативного розмноження цієї декоративної хвойної рослини.

У групі варіантів, у яких концентрація ІМК становить 50 мг/л, частка укорінення збільшується разом із тривалістю замочування. Відносно концентрації ІМК (50 мг/л) та кількості годин (6, 12, 24 год.) збільшується частка вкорінення, від 7,91 до 18,75 %. Такий результат вказує на те, що за низької концентрації ІМК тривалість контакту живця з гормональним розчином є основним фактором. Адже це забезпечує достатнє надходження ауксину до базальних тканин і поступову активацію процесу – ризогенезу. З іншого боку, на діаграмі видно, що навіть найвищий показник з концентрацією ІМК 50 мг/л не перевищує 20 %, а це вказує на те, що стимулятивна дія конкретної концентрації обмежена, і не являється найбільш ефективнішою.

Розчин ІМК з концентрацією 100 мг/л має сильніший ефект. На діаграмі помітно показник, який відповідає замочуванню живців упродовж 12 год., він досягає 25 % вкорінення. Відповідно до діаграми, нижчі значення для 6- та 24-годинної експозиції (18,75 і 21,25 %) свідчать про раціональну гормональну дію. Це означає, що середня концентрація ІМК і помірна тривалість оброблення живців створюють найкращі умови для формування кореневих примордіїв у живцях ялини колючої.

Група варіантів розчину із концентрацією ІМК 150 мг/л демонструє контрастні результати; це особливо помітно на діаграмі через значну різницю у відсотках вкорінення живців. Найбільшу частку вкорінення, у досліді загалом, було отримано в разі замочування живців упродовж 6 год., а саме 30,83 %. Тривалість оброблення до 12 год. призводить до зниження ефективності укорінення 21,66 %. За 24 год. частка укорінення різко спадає до 7,08 %, що майже дорівнює контролю. Така динаміка, відображена на діаграмі, і свідчить про пригнічувальний вплив надлишкової кількості ауксину за

тривалої дії, що може бути спричинено токсичним ефектом високої концентрації ІМК і гормональним дисбалансом.

Згідно з результатами дослідження, можна стверджувати, що укорінення живців ялини колючої є результатом складної взаємодії між концентрацією ІМК та тривалістю її впливу. На діаграмі чітко помітно, що є виразні оптимуми та пороги ефективності, якщо перевищити їх, це призведе до зниження рівня приживлюваності. Результати дослідження можуть слугувати науковою основою для вибору режимів гормонального оброблення живців і мають значну практичну цінність для покращення методів вегетативного розмноження *Picea pungens* у декоративних розсадниках.

Таблиця. Вихід вкорінених живців ялини колючої, за різної концентрації та тривалості замочування живців / Root growth of prickly spruce cuttings at different concentrations and durations of soaking

Фактор А	Фактор В	Рік дослідження, %		Середнє за 2024-2025 рр., %
		2024	2025	
Індоліл-3-масляна кислота мг/л	Тривалість замочування, год.			
Контроль (вода)		4,16	6,66	5,41
50	6	9,16	6,66	7,91
	12	16,66	13,33	14,99
	24	20	17,5	18,75
100	6	16,67	20,83	18,75
	12	22,5	27,5	25
	24	20	22,5	21,25
150	6	30,83	30,83	30,83
	12	23,33	20	21,66
	24	6,66	7,5	7,08
НІР				
А		2,48	2,94	
В		2,15	2,54	
АВ		4,29	5,08	

Дослідження проведено протягом 2024-2025 рр. Ефективність застосування ІМК оцінювали в межах двофакторного дослідження, фактором А – виступала концентрація ІМК (50, 100, 150 мг/л), фактором В – часовий проміжок контакту базальної частини живця з препаратом (6, 12, 24 год.).

Аналіз живців, які висаджували у субстрат без попереднього оброблення (контроль), продемонстрував низьку регенераційну здатність. Середні результати становили 1,5 одиниці живця (один живець у 2024 р. та два живці у 2025 р.). Це свідчить про те, що ендогенний вміст фітогормонів у тканинах ялини недостатній для самостійного подолання фізіологічних перешкод калусоутворення та ініціації кореневих примордіїв. Використання синтетичних стимуляторів стає важливим агротехнічним рішенням для отримання якісного садивного матеріалу. Показники вкорінення живців ялини колючої за роками досліджень та за різних концентрацій ІМК і тривалості замочування наведено в таблиці.

Докладний моніторинг динаміки вкорінення дав змогу виявити складну нелінійну залежність між концентрацією робочого розчину і тривалістю експозиції, що має чітке фізіологічне обґрунтування. За використання мінімальної концентрації стимулятора (50 мг/л) відзначалася стабільна позитивна кореляція між тривалістю оброблення та остаточним результатом. Отже, коротка 6-годинна експозиція забезпечила укорінення всього 2,5 шт. (середнє за два роки) або 7,91 %, що свідчить

про недостатнє насичення тканин ауксином. Подовження тривалості дії до 12 год. підвищило показник до 4,5 шт. або 14,99 %, а 24-годинне пролонговане оброблення дало максимальний результат для цієї концентрації – 5,5 шт. або 18,75 %. Це вказує на те, що невеликі концентрації впливають м'яко, не спричиняючи стресу у рослини, але потребують тривалого часу для досягнення критичної дози, потрібної для активації процесу клітинного ділення.

Збільшення концентрації до 100 мг/л змінило характер залежності результатів від тривалості. У цьому варіанті спостерігається зміщення оптимуму в бік середньої тривалості оброблення. Після 6 год. замочування середній показник становив 5,5 шт. або 18,75 %, що вже відповідає найкращому результату попередньої концентрації. Найвищого ефекту для цієї концентрації було досягнуто за 12-годинного замочування живців – в середньому 7,5 укорінених живців або 25 %. Це є найвищим показником для цього дозування. Подовження часу замочування до 24 год. зумовлює незначне зменшення показника до 6,5 шт. або 21,25 %. Це зниження не є критичним, але вказує на початок перенасичення тканин стимулятором, що замість активації може спричинити незначне гальмування ростових процесів.

Найбільш показові та контрастні результати отримано в разі використання максимальної концентрації 150 мг/л. Цей етап дослідження ілюструє фізіологічне правило оптимуму дії фітогормонів. За мінімального замочування (6 год.) було досягнуто абсолютного максимуму вкорінення за весь період досліджень – у середньому 9,0 живців (30 % від загальної кількості). Висока концентрація гормону забезпечила швидке проникнення потрібної дози в тканини, це стало потужним поштовхом для ризогенезу. Проте збільшення часу контакту живців із препаратом такої концентрації мало і негативні наслідки. Уже за 12 годин показник знизився до 6,5 шт. або 21,66 %, а за 24 години сталося значне зниження результативності до 2,0 шт. або 7,08 %, що фактично дорівнює рівню контролю (без оброблення). Фізіологічне пояснення полягає в тому, що синтетичні ауксини у високих дозах за тривалої дії можуть проявляти фітотоксичний ефект. Замочування на 24 год. у розчині 150 мг/л призвело до токсичного ураження тканин основи живця (імовірно, некрозу камбіального кільця), що заблокувало процеси утворення калусу та коренів.

Використовуючи метод дисперсійного аналізу, математичне оброблення експериментальних даних підтвердило статистичну достовірність впливу окремих факторів та їх взаємодії на процес ризогенезу живців *Picea pungens* Engelm. f. *glauca*. Для фактора А – концентрації ІМК НІР становила 2,48 у 2024 р. та 2,94 у 2025 р., для фактора В тривалість замочування – 2,15 і 2,54, а для взаємодії факторів А та В – 4,29 і 5,08 відповідно.

Аналіз отриманих результатів дослідження. Результати дослідження підтвердили низький вихід укорінених живців за вегетативного розмноження *Picea pungens* f. *glauca* та засвідчило важливий вплив ІМК на процес ризогенезу. Вони також демонструють, що успішність ризогенезу залежить від правильного балансу між тривалістю замочування та концентрацією стимулятора.

Picea pungens f. *glauca* належить до порід, які важко вкорінювати, це підтверджують низькі показники вкорінення в контрольному варіанті, у якому використовували тільки воду (1,5 шт., або 5,41 %). Навіть у живцях

молодих маточних рослин віком від 5 до 8 років рівень ауксинів недостатній для подолання анатомічних бар'єрів і запуску процесів диференціації клітин. Це узгоджується з результатами Girouard [7], який вказує на, що для цього виду потрібно використовувати стимулятори росту.

У дослідженнях Kang та ін. [11] описано, що живці, які зібрані з верхніх гілок 15-річних дерев *Picea crassifolia*, демонструють кращу приживлюваність, порівняно з деревами старшого віку, адже в їхніх тканинах міститься більша концентрація природного ауксину ІОК (індоліл-3-оцтова кислота), що є природним аналогом ІМК.

Навіть після 24-годинного оброблення живців частка приживлюваності не перевищувала 18,3 %. Це свідчить про те, що концентрація 50 мг/л долає фізіологічний спокій, але розчини із вищим рівнем концентрації ІМК демонструють вищу частку вкорінення, адже ялина має щільну деревину з товстою кутикулою.

Натомість, найвиразніша є динаміка за високих концентрацій (150 мг/л). Найкращий результат, який ми отримали – 30,83 % вкорінення, за 6-годинного оброблення – підтверджує висновки польських науковців Rascholzka і Nowakowska [14] про те, що для *Picea pungens* ефективнішими є високі концентрації ауксину. Висока концентрація гарантує швидке насичення базової частини живця потрібною кількістю гормону, що, можливо, стимулює ферментативні системи (пероксидази, поліфенолоксидази) та пришвидшує переміщення вуглеводів до області формування калюсних клітин. В їх досліджах оцінювання результатів проведено за 5-бальною шкалою, контроль оцінено в 1,5-2,0 бали, тоді як оброблення пудрою, яке містило ІМК, досягало 3 балів, а препарат ризопон (який містить 0,2 % ІМК) оцінено в 4,5-5,0 балів, що є максимальним результатом досліджу. Згідно з цим, можна зробити висновок, що присутність ІМК підвищує результат вкорінення, порівняно з варіантом без оброблення стимуляторами.

Проте наше дослідження також чітко продемонструвало ризик передозування. Різка зниження вкорінення до контрольного рівня (7,08 %) за поєднання високої концентрації (150 мг/л) і тривалої дії (24 год.) є типовим проявом токсичного впливу ауксинів. Тривалий вплив висококонцентрованого розчину, найімовірніше, спричинив токсичне ураження камбіального шару та некроз тканин, що фізично унеможливило формування кореневих примордіїв.

Цікавим є порівняння двох найефективніших варіантів: 100 мг/л (12 год.) та 150 мг/л (6 год.). Але варіант із 6-годинним замочуванням є продуктивнішим, тому що дає можливість пришвидшити процес висаджування живців та оптимізувати робочий час загалом.

Дослідження також демонструють, що хоча максимум у 30,83 % є статистично значущим і помітно перевищує контрольний, все ж залишаються простір для вдосконалення технології. Комбінація ІМК з ко-факторами, наприклад, фунгіцидами та вітамінами, або застосування гелів, що забезпечують стабільніші умови для зрізів, може привести до додаткового підвищення продуктивності [6].

Отже, результати дослідження показують, що короточасне оброблення високими концентраціями ІМК є найефективнішим для *Picea pungens* f. *glauca*. Це дає можливість подолати природну резистентність тканин до вкорінення, не ризикуючи завдати фітотоксичної шкоди.

Обговорення результатів дослідження. Автори [2] проводили дослідження з двома видами сосен *Pinus lambertiana* та *Pinus ponderosa*, внаслідок чого вони виявили, що використання Clonex у гелевій формі (0,31 % ІМК), основною дієвою речовиною якого є індоліл-3-масляна кислоти, покращує не тільки частку укорінення, а і якість утвореної кореневої системи порівняно з контролем. Дослідники з'ясували, що ефективність стимуляції ауксинами істотно залежала від концентрації ІМК та живильного середовища для вкорінення, а рівень укорінення змінювався в широкому спектрі від помірного до високого, що свідчить про високу чутливість сосен до екзогенного ауксину та загалом доволі високу здатність цих видів до адвентивного коренеутворення. Унаслідок їхнього дослідження було досягнуто результату вкорінення (30-50 %), тоді як контрольні результати без оброблення препаратом становили 10-30 %. Порівняно з цими результатами, для *Picea pungens* f. *glauca* у нашому дослідженні був характерний значно нижчий потенціал ризогенезу, оскільки навіть за раціональних режимів застосування ІВА максимальний рівень укорінення не перевищував 30,83 %. Це підтверджує обмеженішу здатність ялини до формування адвентивних коренів порівняно із соснами та узгоджується з відомими видовими відмінностями у морфофізіологічній регуляції процесів коренеутворення, адже частка вкорінення в нашому дослідженні в контрольному варіанті не перевищувала 5,41 %.

Науковці [12] досліджували вплив різних концентрацій ІМК та термінів заготівлі живців на ризогенез у *Cupressus macrocarpa* cv. *Goldfinch*. Науковці продемонстрували, що використання ІМК істотно підвищило частку укорінення, при цьому за концентрацій 1500-4500 мг/л частка укорінення становила у межах 55-85 % залежно від терміну живцювання, тоді як у контролі цей показник досягав 30-40 %. *Picea pungens* f. *glauca* мав нижчий ступінь вкорінення, порівняно з цими даними, це можна пояснити анатомо-морфологічними та фізіологічними особливостями міжвидового характеру. Представники роду *Picea* є важковкорінюваними хвойними, що пов'язане зі значним здерев'янінням тканин, меншою здатністю до ризогенезу та характеристиками ендогенного гормонального балансу. Натомість *Cupressus macrocarpa* має порівняно кращу регенерацію, що приводить до значно вищих показників укорінення за гормонального стимулювання.

Автори [5] у дослідженнях на здерев'янілих живцях *Pterocarya fraxinifolia* обґрунтували, що використання екзогенного ауксину є необхідною умовою для успішного коренеутворення. Раціональними виявилися концентрації 1000 та 2000 мг/л ІМК, де спостерігалися найкращі показники укорінення (75-85 %), тоді як збільшення дози до 8000 мг/л зумовило гальмування коренеутворення (25-40 %), що вказує на фітотоксичний вплив високих концентрацій ІМК. Результати в контрольній групі становлять 35-45 %. Подібна тенденція спостерігалася і в нашому дослідженні на *Picea pungens* f. *glauca*, де максимальний рівень укорінення (30,83 %) було отримано за оброблення 150 мг/л ІВА протягом 6 год., тоді як подовження замочування живців за високої концентрації (150 мг/л упродовж 24 год.) призводило до різкого зниження укорінення (близько 5,41 %), що вказує на токсичний вплив надмірного замочування. Істотно різні показники укорінення зумовлені видовими особливостями листяних порід, зокрема тоншою корою та

активнішою камбіальною зоною, які сприяють швидшому формуванню адвентивних коренів.

Дослідники у роботі [16] продемонстрували високу ефективність ІМК у стимуляції ризогенезу живців *Melia dubia*, де за допустимої концентрації (1200 мг/л) спостерігалось утворення великої кількості коренів (до 63 на живець) та активний розвиток кореневої системи. Це вказує на велику чутливість цього виду до ауксинової стимуляції та його великий регенераційний потенціал. На відміну від цього, *Picea pungens* f. *glauca* має істотно меншу здатність до коренеутворення, що зумовлено біологічними властивостями хвойних. Отже, отримані дані свідчать про те, що навіть за раціональних умов використання ІВА, ризогенез у ялини залишається значно нижчим, ніж у легкоукорінюваних листяних дерев.

Науковці [8] дослідили вплив різних концентрацій ауксинів (ІМК 1000 та 5000 мг/л) у комбінації з різними умовами теплиці та субстратами на укорінення дерев'янистих живців декоративних хвойних, таких як *Chamaecyparis lawsoniana* "Ellwoodii", *Cryptomeria japonica* "Elegans" та *Cupressocyparis leylandii*. Автори виявили, що використання ІВА помітно збільшувало частку вкорінення порівняно з контролем, до того ж для *Chamaecyparis lawsoniana* "Ellwoodii" найвищі показники досягали 100 % укорінення в разі оброблення ІВА 1000 мг/л у торф'яному субстраті, тоді як для *Cryptomeria japonica* "Elegans" 100 % укорінення також було досягнуто як за ІВА 1000, так і за ІВА 5000 мг/л. Для *Cupressocyparis leylandii* найвищий рівень укорінення був меншим і становив 73,33 % в разі використання ауксинових оброблень. Контрольний показник у досліджуваних рослин *Cryptomeria japonica* "Elegans" та *Cupressocyparis leylandii* за найкращих умов, а це виявився перліт, досягав до 60 % укорінення.

Порівняно з цими результатами, у нашому дослідженні *Picea pungens* f. *glauca* максимальний рівень укорінення становив тільки 30,83 % за оброблення 150 мг/л ІВА протягом 6 год., а контроль становив тільки 5,41 %. Що свідчить про значно нижчу здатність ялини до формування адвентивних коренів навіть за раціональних режимів ауксинової стимуляції. Така різниця, ймовірно, пов'язана з міжродовими анатомо-фізіологічними особливостями хвойних, оскільки для *Chamaecyparis* та *Cryptomeria* характерні вища регенераційна здатність камбіальних тканин і більша кількість латентних кореневих ініціалів, тоді як у *Picea* формування коренів зі здерев'янілих пагонів є обмеженішим процесом і часто потребує досконаліших умов укорінення.

Науковці [1] проводили дослідження на м'яких живцях плодкових культур роду *Prunus* та встановили високі показники укорінення за застосування ІМК, результат укорінення живців становив (22,5-59 %). Висока меристематична активність та значна кількість потенційних кореневих ініціалів у м'яких живцях забезпечують результативніше укорінення за оброблення стимулятором. Варто зазначити, що навіть у легкоукорінюваних плодкових культурах ІМК не гарантує високих показників. На відміну від цього, у здерев'янілих живцях *Picea pungens* f. *glauca* процес формування адвентивних коренів є значно обмеженішим і повільнішим, що пояснює істотно нижчі показники укорінення порівняно із плодовими листяними породами.

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

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – отримали подальший розвиток методики виявлення взаємозв'язку концентрації індоліл-3-масляної кислоти (ІМК) та тривалості її впливу на процес ризогенезу живців *Picea pungens* Engelm. f. *glauca*, яка, на відміну від наявних методик, дає можливість встановити раціональні значення та пороги ефективності гормонального оброблення, після перевищення яких стимулятивний ефект ІМК переходить у пригнічувальний через фітотоксичну дію.

Практична значущість результатів дослідження – отримані результати можна використати у практиці декоративних розсадників для підвищення ефективності вегетативного розмноження *Picea pungens* Engelm. f. *glauca*.

Висновки / Conclusions

Визначено закономірності впливу різних концентрацій ІМК та тривалість оброблення живців *Picea pungens* Engelm. f. *glauca* на ефективність ризогенезу, що дало можливість подолати природну резистентність тканин до вкорінення, не ризикуючи завдати їм фітотоксичної шкоди. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. Дослідження, яке було здійснено у 2024-2025 рр., демонструє, що *Picea pungens* Engelm. f. *glauca* має низьку природну спроможність до адвентивного коренеутворення. Рівень вкорінення живців у контрольному варіанті без використання стимуляторів росту становив 5,41 %. Це доводить, що культура має обмежену здатність до регенерування і що без фітогормонального оброблення неможливо отримати якісний клональний садивний матеріал.
2. Результати дослідження демонструють, що ІМК є дієвим агрономічним прийомом для підвищення приживлюваності живців ялини колючої. Показники укорінення надійно перевищували контроль (вода) у всіх варіантах експерименту зі застосуванням ІМК. Це свідчить про те, що синтетичні ауксини можуть бути корисними для технологій вегетативного розмноження ялини колючої.
3. Встановлено, що взаємодія між концентрацією ІМК та тривалістю замочування живців є статистично достовірною. Рівень укорінення визначається впливом усіх факторів разом, а не окремо кожний зокрема. Це означає, що є оптимуми та межа ефективності гормональної дії.
4. Встановлено найкращі варіанти гормонального оброблення живців (*Picea pungens* Engelm. f. *glauca*), 6-годинним обробленням живців розчином ІМК концентрацією 150 мг/л було досягнуто найвищого середнього укорінення, яке становило 30,83 %. Рівнозначного результату було досягнуто із концентрацією 100 мг/л протягом 12 годин замочування. Це підтверджує можливість використання інших способів залежно від умов виробництва.
5. Встановлено, що висока концентрація стимулятора (150 мг/л) і тривале замочування (24 год.) негативно впливають на тканини живців. Таке замочування спричинило значне зниження вкорінення до 7,08 %. Це фактично нівелює позитивний ефект ІМК та робить оброблення недоцільною.

References

- Aydın, E., & Er, E. (2023). The effect of different IBA doses on rooting in soft-wood cuttings of rootstock candidate sweet cherry, sour cherry and mahaleb genotypes. *Turkish Journal of Food and Agriculture Sciences*, 5(1), 48–54. <https://doi.org/10.53663/turjfas.1297196>
- Barros, S. F. J., Ferreira, A. R., & McGiffen, M. E. (2026). Interactive Effects of Root-Promoting Treatments and Media on Clonal Propagation of Two Western Pine Species. *Plant*, 15(2), article ID 237. <https://doi.org/10.3390/plants15020237>
- Blythe, E. K., Sibley, J. L., Tilt, K. M., & Ruter, J. M. (2007). Methods of auxin application in cutting propagation: a review of 70 years of scientific discovery and commercial practice. *Journal of Environmental Horticulture*, 25(3), 166–185. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-25.3.166>
- Cao, X., Gao, F., Qin, C., Chen, S., Cai, J., Sun, C., Weng, Y., & Tao, J. (2022). Optimizing somatic embryogenesis initiation, maturation and preculturing for cryopreservation in *Picea pungens*. *Forests*, 13(12), article ID 2097. <https://doi.org/10.3390/f13122097>
- Çetinn, B., & Başm, E. (2025). Effects of indole-3-butyric acid application on rooting and vegetative development in hardwood cuttings of *Pterocarya fraxinifolia* (Poiret) Spach. *BioResources*, 20(3), 7305–7317. <https://doi.org/10.15376/biores.20.3.7305-7317>
- El-Sallami, I. H., & Mahros, O. M. (2000). Effect of some growth regulators and branch portion on rootability of cutting, vegetation and flowering of poinsettia. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 31(5), 71–94. URL: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20013062356>
- Girouard, R. M. (1974). Propagation of spruce by stem cuttings. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 4(2), 140–149. URL: https://www.scionresearch.com/_data/assets/pdf_file/0004/58783/NZJFS421974GIROUARD140_149.pdf
- Güney, D., Bayraktar, A., Atar, F., & Tuma, I. (2021). The effects of different factors on propagation by hardwood cuttings of some coniferous ornamental plants. *Sumarski list*, 145(9-10), 467–477. <https://doi.org/10.31298/sl.145.9-10.5>
- Hazubska-Przybył, T., & Wawrzyniak, M. K. (2022). Somatic embryogenesis of Norway spruce and Scots pine. *Forests*, 13(2), article ID 155. <https://doi.org/10.3390/f13020155>
- Ibrahim, M. A., Bosila, H. A., Hamza, M. A., Ibrahim, I. M. E., & Abdel-Gawad, A. I. M. (2025). Effect of IBA and media on the anatomical structure and root formation in *Zanthoxylum beecheyanum* plant. *Scientific Journal of Flowers & Ornamental Plants*, 12(1), 1–9. <https://doi.org/10.21608/sjfo.2025.419632>
- Kang, J., Zhao, W., Zhao, M., Li, G., Zhang, J., & Zhang, Z. (2015). 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*, 26(4), 993–1002. <https://doi.org/10.1007/s11676-015-0091-3>
- Lone, R. A., Wani, B. U. I., Gani, G., Rather, Z. A., & Malik, R. U. I. (2025). Effect of indole-3-butyric acid and time of stem cuttings on rhizogenesis of *Cupressus macrocarpa* cv. *Goldcrest*. *International Journal of Research in Agronomy*, vol. 8, issue 12, Part F, 380–384. <https://doi.org/10.33545/2618060X.2025.v8.i12f.4394>
- Okao, M., Ogwal, L., Mutoni, G., Oyuko, Alip, S., Okullo, J. B. L., & Akais, Okia, C. (2016). Effect of mode of auxin application on rooting and bud break of Shea tree (*Vitellaria paradoxa*) cuttings. *American Journal of Plant Sciences*, 7(15), 2199–2208. <https://doi.org/10.4236/ajps.2016.715194>
- Pacholczak, A., & Nowakowska, K. (2020). The effect of biostimulators and indole-3-butyric acid on rooting of stem cuttings of two ground cover roses. *Acta Agrobotanica*, 73(1), article ID 7314. <https://doi.org/10.5586/aa.7314>
- Rosvall, O. (2019). Using Norway spruce clones in Swedish forestry: general overview and concepts. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 34(5), 336–341. <https://doi.org/10.1080/02827581.2019.1614659>
- Swathi, S., Gupta, G., Singh, S., & Bhukya, R. (2025). Effect of IBA on rooting behaviour of *Melia dubia* cuttings. *Indian Forester*, 151(5), 436–443. <https://doi.org/10.36808/if/2025/v151i5/170084>
- Tao, J., Chen, S., Qin, C., Li, Q., Cai, J., Sun, C., Wang, W., & Weng, Y. (2021). Somatic embryogenesis in mature zygotic embryos of *Picea pungens*. *Scientific Reports*, 11(1), article ID 19072. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98511-w>
- Tikkinen, M., Latvala, T., & Aronen, T. (2021). Interest in vegetatively propagated Norway spruce materials – a survey among Finnish forest owners and professionals. *Silva Fennica*, 55(3), article ID 10506. <https://doi.org/10.14214/sf.10506>
- Zarei, M., Salehi, H., & Jowkar, A. (2020). Controlling the barriers of cloning mature *Picea abies* (L.) H. Karst. via tissue culture and co-cultivation with *Agrobacterium rhizogenes*. *Trees*, 34(3), 637–647. <https://doi.org/10.1007/s00468-019-01945-z>

A. S. Badenko

Uman National University, Uman, Ukraine

EFFECT OF INDOLYL-3-BUTYRIC ACID ON ROOT FORMATION OF COLORADO BLUE SPRUCE CUTTINGS

Vegetative propagation of Colorado blue spruce (*Picea pungens* Engelm. f. *glauca*) by stem cuttings remains the only reliable approach for preserving valuable ornamental traits; however, its large-scale application in nursery production is constrained by inherently low rooting capacity. The study evaluated the effect of indole-3-butyric acid (IBA) concentration and exposure duration on adventitious root formation in semi-hardwood cuttings of *Picea pungens* f. *glauca*. The experiment was conducted during 2024–2025 using a two-factorial design that tested aqueous IBA solutions at concentrations of 50, 100, and 150 mg L⁻¹ combined with soaking durations of 6, 12, and 24 h, with four replications of 30 cuttings per treatment. It was found that untreated control cuttings exhibited minimal regenerative ability, with an average rooting rate of only 5.41 %, confirming the species low endogenous rhizogenic potential. It was established that at the lowest IBA concentration (50 mg L⁻¹), rooting success increased progressively with longer exposure, rising from 7.91 % after 6 h to 18.75 % after 24 h; consequently, prolonged contact time partially compensated for the weak hormonal stimulus. Moreover, the application of IBA at 100 mg L⁻¹ significantly enhanced rooting efficiency, with the highest response (25.0 %) recorded after 12 h of soaking, whereas extending exposure to 24 h resulted in a moderate decline, indicating the onset of hormonal saturation. The most pronounced response was observed at 150 mg L⁻¹ IBA with a short exposure period: 6 h of treatment yielded the maximum rooting rate of 30.83 %, representing a more than fivefold increase compared with the control. As a result, this combination was identified as the optimal hormonal regime for the species. However, it was also clarified that extending the soaking duration at this concentration led to a sharp reduction in rooting success, reaching values comparable to the control after 24 h, which suggests a phytotoxic or inhibitory effect of excessive auxin accumulation. The benefits of this study lie in demonstrating clear physiological thresholds for exogenous auxin application, beyond which root initiation is suppressed rather than stimulated. Overall, the results characterize distinct interaction patterns between IBA concentration and exposure duration and provide an experimentally substantiated basis for optimizing vegetative propagation protocols of *Picea pungens* f. *glauca* in ornamental nursery practice.

Keywords: vegetative propagation; growth regulator; adventitious root formation; auxins; duration of exposure.