Фармацевтична ботаніка

ФАРМАЦЕВТИЧНИЙ ЧАСОПИС

http://ojs.tdmu.edu.ua/index.php/pharm-chas

DOI: https://doi.org/10.11603/2312-0967.2026.1.15952
УДК 581.14:582.929.4]:631.811.98

ВПЛИВ 2-(ПІРИДИН-4-ІЛТІО)ОЦТОВОЇ КИСЛОТИ НА РАННІ ЕТАПИ ОНТОГЕНЕЗУ *SALVIA SPLENDENS* SELLO EX NEES

С. О. Яковлєва-Носарь, Н. П. Дерев'янко, М. П. Завгородній, Н. В. Бондарчук

Комунальний заклад вищої освіти «Хортицька національна навчально-реабілітаційна академія» Запорізької обласної ради
krokus17.zp@gmail.com

ІНФОРМАЦІЯ

Надійшла до редакції / Received: 05.01.2026
Після доопрацювання / Revised: 06.02.2026
Прийнято до друку / Accepted: 09.02.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ключові слова:
шавлія блискуча,
похідні піридину,
характеристики проростання насіння,
морфометричні показники проростків.

АНОТАЦІЯ

Мета дослідження – порівняти вплив традиційних стимуляторів росту рослин і синтезованого піридинового похідного оцтової кислоти на особливості проростання насіння та інтенсивність росту проростків шавлії блискучої (*Salvia splendens* Sello ex Nees).

Матеріали і методи. Об'єктом лабораторного досліду були насіння і проростки шавлії блискучої (*Salvia splendens* 'Фарао') (родина *Lamiaceae* Lindl.). Матриця досліду включала традиційні стимулятори росту (бурштинову кислоту, етрел) та ресинтезовану на кафедрі аграрних технологій Хортицької національної академії сполуку 2-(піридин-4-ілтіо)оцтову кислоту концентрацією 1,0; 5,0 та 10,0 мкмоль/л. Як препарати порівняння використовували бурштинову кислоту – стимулятор метаболізму в концентрації 10^{-3} М та етрел – стимулятор гормональної дії в концентрації 10^{-4} М. У контрольному варіанті використовували воду очищену. Аналізували схожість насіння, динаміку та енергію його проростання, морфометричні показники проростків (довжина кореня і гіпокотилю, площа сім'ядольних листків). Результати опрацьовані статистичними методами.

Результати та обговорення.
Встановлено, що схожість насіння *S. splendens* за дії як традиційних (бурштинова кислота, етрел), так і синтезованого (1,0 і 5,0 мкмоль/л) стимуляторів росту перевищує контрольні значення. У варіанті із застосуванням вищої концентрації (10,0 мкмоль/л) синтезованої сполуки спостерігається суттєвий пригнічуючий ефект проростання насіння (на 57,1%). З традиційних стимуляторів росту на ріст проростків краще впливає бурштинова кислота, а дія синтезованої сполуки є особливо позитивною за меншої концентрації (1,0 мкмоль/л), тоді як найвища із застосованих спричиняла пригнічуючий ефект на ростові процеси вегетативних органів проростків *S. splendens*.

Висновки. За комплексною дією на процеси проростання насіння та початкові етапи онтогенезу рослин *S. splendens* 'Фарао' більш виражений позитивний вплив із традиційних стимуляторів росту виявила бурштинова кислота, а синтезована сполука (піридин-4-ілтіо)оцтова кислота) – у концентраціях 1,0 і 5,0 мкмоль/л, особливо за меншої із них.

Вступ. Одним із популярних гарноквітучих однорічників, що використовується у квітниковому оформленні населених пунктів України, є шавлія блискуча (*Salvia splendens* Sello ex Nees) [1–3]. Вона походить із тропіків Бразилії. На своїй батьківщині є багаторічником і використовується як лікарська та пряносмакова рослина [4]. Цей вид також росте в деяких країнах Азії, зокрема в Індії і Китаї. У помірних широтах цей напівчагарник вирощується як однорічна рослина, оскільки не витримує зимових умов відкритого ґрунту. У культурі – з 1822 р. [5].

Різні органи *S. splendens* містять комплекс біологічно активних сполук (антрахінони, флавоноїди, похідні флавон-3-олу, алкалоїди, глікозиди, таніни, сапоніни, терпеноїди, редукуючі цукри та стероїди), які мають широкий спектр лікувальних властивостей. Зокрема, екстракти речовин із листя, стебел і коренів виявляють жарознижувальну, протизапальну, антиоксидантну, антидіабетичну, гіполіпідемічну, гепатопротекторну, антимікробну, протипухлинну, противиразкову дію [4; 6].

S. splendens є джерелом натурального барвника для фарбування бавовняних і шовкових тканин. Водний екстракт квіток цього виду дає коричневі та зелені відтінки на зазначених тканинах із хорошими показниками міцності забарвлення. Результатами досліджень доведено перспективність застосування барвника в промисловому фарбуванні бавовняних і шовкових тканин для швейної промисловості. Ведуться роботи з популяризації цього виду рослин як дешевого джерела природного барвника [5].

Існує понад 20 сортів *S. splendens*, що відрізняються кольором квіток і розмірами рослин. Вони бувають високими (до 90 см заввишки) і карликовими [7] із червоними, фіолетовими, рожевими, лососевими, білими або двоколірними квітками. Слід зазначити, що найчастіше у практиці озеленення трапляються рослини *S. splendens* із червоним забарвленням квіток [8]. Цей вид віднесений до групи рослин із тривалим періодом цвітіння за умов культивування в Україні [1]. Здебільшого *S. splendens* вирощують у вигляді масивів, під час оформлення рабаток, міксбордерів, для створення яскравих плям на газонах, в озелененні балконів. Культивують *S. splendens* на сонячних ділянках із суглинистим, добре дренованим ґрунтом [5; 7]. На родючих і вологих ґрунтах рослина утворює вегетативну масу, але слабко цвіте. Також *S. splendens* чутлива й до нестачі вологи у ґрунті. Є дуже теплолюбною, тому пошкоджується першими легкими приморозками [5; 7].

У зв'язку із зазначеним вище практичний інтерес являє дослідження чинників, зокрема біологічно активних речовин, які здатні позитивно впливати на процеси проростання насіння та формування життєздатних рослин. Такими є, зокрема, похідні піридину, що активно досліджуються як стимулятори розмноження рослин [9; 10]. Вони є аналогами індолілмасляної кислоти та індолілоцтової кислоти і тому є речовинами з потенційно високою рострегулюючою активністю [9–11]. Ці сполуки стимулюють утворення коренів у живців, що особливо важливо для вегетативного розмноження важковкорінюваних рослин [11]. Ці речовини сприяють розвитку кореневої системи, що забезпечує краще живлення та приживлюваність молодих рослин. Обробка живців стимуляторами росту на основі піридину допомагає їм краще пережити стрес під час пересадки, що є актуальним у розмноженні рослин у складних умовах [12]. Деякі похідні піридину впливають на інші аспекти росту та розвитку рослин, такі як ріст стебла, формування бруньок і цвітіння [13]. Це дозволяє використовувати їх для оптимізації процесів розмноження та отримання якісного садивного матеріалу. Стимулятори росту на основі піридину можуть бути використані для покращення зрощення прищепи з підщепою, що є особливо важливим для щеплення важкозрощуваних рослин [14].

Мета дослідження – порівняти вплив традиційних стимуляторів росту рослин та синтезованого піридинового похідного оцтової кислоти на характеристики проростання насіння й інтенсивність росту проростків *Salvia splendens* Sello ex Nees.

Матеріали і методи. Модельні експерименти проводили на базі лабораторії кафедри садово-паркового господарства (нині – аграрних технологій) Хортицької національної академії, м. Запоріжжя.

Як об'єкт дослідження використовували насіння і проростки шавлії блискучої (*S. splendens* 'Фарао') (родина *Lamiaceae* Lindl.), що є оптимальним для відтворюваності досліду. У дослідженні використовували насіння компанії Hem Zaden та проростки шавлії блискучої (*Salvia splendens* 'Фарао').

Характеристика насіннєвого матеріалу:

– виробник: Hem Zaden B.V. (Нідерланди);

– культура: шавлія блискуча (*Salvia splendens* 'Фарао');

– партія: Lot No.: HZ-23-0417;

– рік збору: 2023;

– термін зберігання: до 2026 року (відповідно до даних виробника);

– умови зберігання: у сухому темному місці за температури +4…+8°C.

Рослини цього сорту мають червоне забарвлення квіток.

Пророщування насіння здійснювали в темряві в чашках Петрі, які регулярно провітрювали протягом 10 хв/добу, за температури +23…+25°C. Була вибрана методика пророщування в темряві, яка дозволяє прибрати «світло» як сильний фактор і не плутає ефект препаратів. Світло через фітохром (red/far-red) сильно змінює запуск проростання й ранній ріст, тому в темряві простіше інтерпретувати вплив рострегуляторів. Темрява краще імітує природне проростання «під шаром субстрату». Тому темновий старт часто ближчий до реальних умов та відтворюваність результатів є вищою між повторами в експерименті. Якщо світло не контролюється ідеально (різна інтенсивність, відстань до лампи, «підсвічування» з вікна), тоді воно стає джерелом варіації. Експеримент тривав 11 діб.

Матриця досліду включала традиційні ростстимулятори (бурштинову кислоту, етрел) та синтезовану

на кафедрі сполуку 2-(піридин-4-ілтіо)оцтову кислоту (автор к.б.н., доцент М.П. Завгородній) (далі – синтез.). Препарати бурштинової кислоти та етрелу розчиняли у воді очищеній, одержуючи робочі розчини згідно зі стандартними рекомендаціями. Бурштинову кислоту (відомий стимулятор метаболізму) взято у 0,02% (10^{-3} М), етрел (етефон, 2-хлоретилфосфонова кислота) – 0,25 мл/л (10^{-4} М) (стандартний Етрел ~480 г/л) як відомий еталон гормональної дії. Перед закладанням на пророщування насіння піддавали поверхневій стерилізації (70% розчин етилового спирту протягом 1 хв, далі 1–2% рзчин NaOCl протягом 5–10 хв) з наступним 3–5-кратним промиванням стерильною водою очищеною. Усі маніпуляції виконували в умовах асептики із використанням стерильних чашок Петрі, фільтрувального паперу та інструментів. Контаміновані зразки вилучали з експерименту та не включали до аналізу.

Синтезовану сполуку застосовували у концентраціях 1,0; 5,0 та 10,0 мкмоль/л. У контрольному варіанті використовували воду очищену. Площу сім'ядольних та перших фотосинтезуючих листків проростків *Salvia splendens* ('Фарао') визначали методом цифрового аналізу зображень з використанням програмного забезпечення ImageJ (Fiji). Листки фотографували на білому фоні за рівномірного освітлення з розміщенням калібрувального об'єкта відомої довжини (10 мм), при перпендикулярному розташуванні камери до поверхні зйомки. Обробку зображень здійснювали після переведення у 8-бітний формат із калібруванням масштабу та пороговою сегментацією контуру листка. Площу листків визначали для 30 проростків у кожному варіанті з подальшою статистичною обробкою даних.

У дослідженні із пророщування насіння *Salvia splendens* 'Фарао' морфометричні вимірювання та фотодокументацію проводили на 7-му добу пророщування, щоб зафіксувати дію регуляторів росту на ранніх етапах онтогенезу.

Обґрунтування вибору 7-ї доби:

– до 7-ї доби у *S. splendens* формується стабільний проросток з чітко диференційованими: головним коренем, гіпокотилем, повністю розгорнутими сім'ядольними листками;

– показники довжини кореня і гіпокотилю та площі сім'ядольних листків стають репрезентативними для порівняння дії різних стимуляторів росту;

– мінімізується вплив вторинних факторів (виснаження субстрату, конкуренція проростків, фототропні деформації);

– саме 6–8-а доба рекомендована у фізіолого-біохімічних дослідженнях для оцінки первинної ростової реакції декоративних однорічних культур.

Результати досліджень оброблені статистично з використанням стандартного програмного пакета IBM SPSS Statistics 22 (IBM, USA, 2013). Таблиці та рисунки відображають середні арифметичні значення та їх стандартні похибки ($x \pm SE$). Достовірність відмінностей між зразками оцінювали за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA). Відмінності вважали достовірними при $P < 0,05$.

Результати й обговорення. Як відомо, одним із найважливіших параметрів оцінки якості насіння є його схожість, оскільки з різним ступенем схожості пов'язані норми висіву та низка біологічних особливостей посівного матеріалу. Зазвичай кількість пророслого насіння за лабораторних умов більша, ніж у польових. Проте лабораторна схожість насіння демонструє потенційну кількість проростків, яку можна одержати з насіння за сприятливих умов.

Дослідження показують, що S-гетерилсукцинати, які синтезовані на основі 4-хлоропіридину, мають високу ростостимулювальну активність. Ці сполуки активують ризогенез (утворення коренів) при мікроклональному розмноженні [15]. Так, динатрієва сіль 2-((піридин-4-іл)тіо)бурштинової кислоти має високу комплексну біологічну активність [16].

Проведено низку досліджень, які присвячені розробці нових регуляторів росту рослин на основі синтетичних низькомолекулярних азотовмісних гетероциклічних сполук [17; 18]. Похідні піридину та піримідину: Івін (N-оксид-2,6-диметилпіридин), Метіур (натрієва сіль 6-метил-2-меркапто-4-гідроксипіримідину) та Каметур (калієва сіль 6-метил-2-меркапто-4-гідроксипіримідину) мали високу дію на ріст та розвиток сільськогосподарських рослин у вегетативній фазі в інтервалі концентрацій 10^{-6}–10^{-7} моль/л.

Нові ауксино- та цитокініноподібні речовини серед хімічних низькомолекулярних азотовмісних гетероциклічних сполук, похідних піридину та тієнопіримідину покращували ріст та підвищували інтенсивність фотосинтезу зернового сорго (*Sorghum bicolor* L.) сорту Одеське 202 протягом вегетаційного періоду [18]. Дослідження показало, що морфометричні та біохімічні показники кукурудзи (*Zea mays* L.), обробленої біовугіллям, застосованим окремо або в поєднанні із синтетичними РРР, значно збільшилися порівняно з аналогічними параметрами контрольних рослин [18].

Відомий препарат етрел (ethephon) було включено до схеми досліду як еталонний регулятор росту гормональної дії, оскільки в рослинних тканинах він розкладається з утворенням етилену – одного з ключових фітогормонів, що регулює процеси проростання насіння, подовження клітин, диференціації тканин і початкового росту проростків [19].

Фітогормони росту відіграють ключову роль не лише в регуляції морфогенезу та онтогенезу рослин, але й у модуляції біосинтезу біологічно активних речовин. Під впливом гормонів росту активуються сигнальні каскади, що призводять до інтенсифікації метаболічних шляхів синтезу вторинних метаболітів, включаючи фенольні сполуки, флавоноїди та алкалоїди. Таким чином, застосування регуляторів росту може розглядатися як ефективний інструмент підвищення біохімічної цінності рослинної сировини [20; 21].

Аналіз схожості насіння *S. splendens* 'Фарао' у варіантах із застосуванням традиційних стимуляторів росту продемонстрував, що цей показник у випадку із бурштиновою кислотою більший на

57,1%, а з етрелом – на 42,9% порівняно з контролем. Ще більш виражений стимулюючий ефект на проростання насіння декоративної рослини виявили у варіантах із використанням менших концентрацій (1,0 і 5,0 мкмоль/л) синтезованої сполуки – піридинової похідної. Ці величини перевищили контрольні значення майже вдвічі (на 85,7 та 94,3%, відповідно). Водночас вища концентрація синтезованої речовини (10,0 мкмоль/л) призвела до зниження схожості насіння порівняно з контролем на 57,1%.

Нами також аналізувалися такі характеристики якості насіння *S. splendens*, як динаміка та енергія його проростання.

Слід зазначити, що початок проростання насіння у всіх варіантах, крім вищої концентрації синтезованої сполуки, зафіксовано на 6-ту добу експерименту (рис. 1). Найбільша кількість пророслого насіння в контролі спостерігається саме на 6-ту добу (13,3%). В подальшому до 9-ої доби включно щодоби проростало по 3,3% від його кількості у цьому варіанті.

У випадку із застосуванням бурштинової кислоти крива, що описує динаміку проростання насіння, підноситься від 6-ої до 8-ої доби. Максимум його проростання припадає саме на 8-у добу (16,7%), після чого вже не відзначається жодної пророслої насінини.

Графік проростання насіння *S. splendens* у варіанті із внесенням етрелу має два піки (по 10,0%) – на 6-ту і 9-ту добу експерименту. Слід відзначити, що цей процес дещо пролонгований у часі порівняно з іншими варіантами: на 10-ту добу досліду ще спостерігалося проростання 3,3% насінин.

Отже, обидва традиційних стимулятори росту позитивно вплинули на процес проростання насіння декоративної квітникової культури *S. splendens*, істотно підвищивши кількість пророслого насіння порівняно з контролем.

У варіанті із найменшою концентрацією синтезованої речовини (1,0 мкмоль/л) найбільш дружні сходи з'являються на 6-ту добу експерименту (16,7% від загальної кількості насіння). Потім крива, що описує процес проростання, плавно спадає до 9-ої доби (3,3%), після чого цей процес повністю гальмується.

Дещо інша картина спостерігається під час аналізу динаміки процесу проростання насіння *S. splendens* за умови додавання синтезованої сполуки у концентрації 5,0 мкмоль/л. Найбільша його енергія проростання зафіксована на 7-у добу (23,3%), при цьому така кількість пророслого насіння за добу виявилася взагалі найвищою серед усіх експериментальних варіантів (рис. 1).

У випадку із застосуванням синтезованої сполуки у концентрації 10,0 мкмоль/л спостерігається інгібування процесу проростання насіння (рис. 1). Процес розпочався на 7-у добу, протягом якої проросло 3,3% насіння. Ця кількісна тенденція зберіглася до 9-ої доби. Таким чином, синтезований ростстимулятор у концентрації 1,0 і 5,0 мкмоль/л підвищував лабораторну схожість насіння *S. splendens* майже

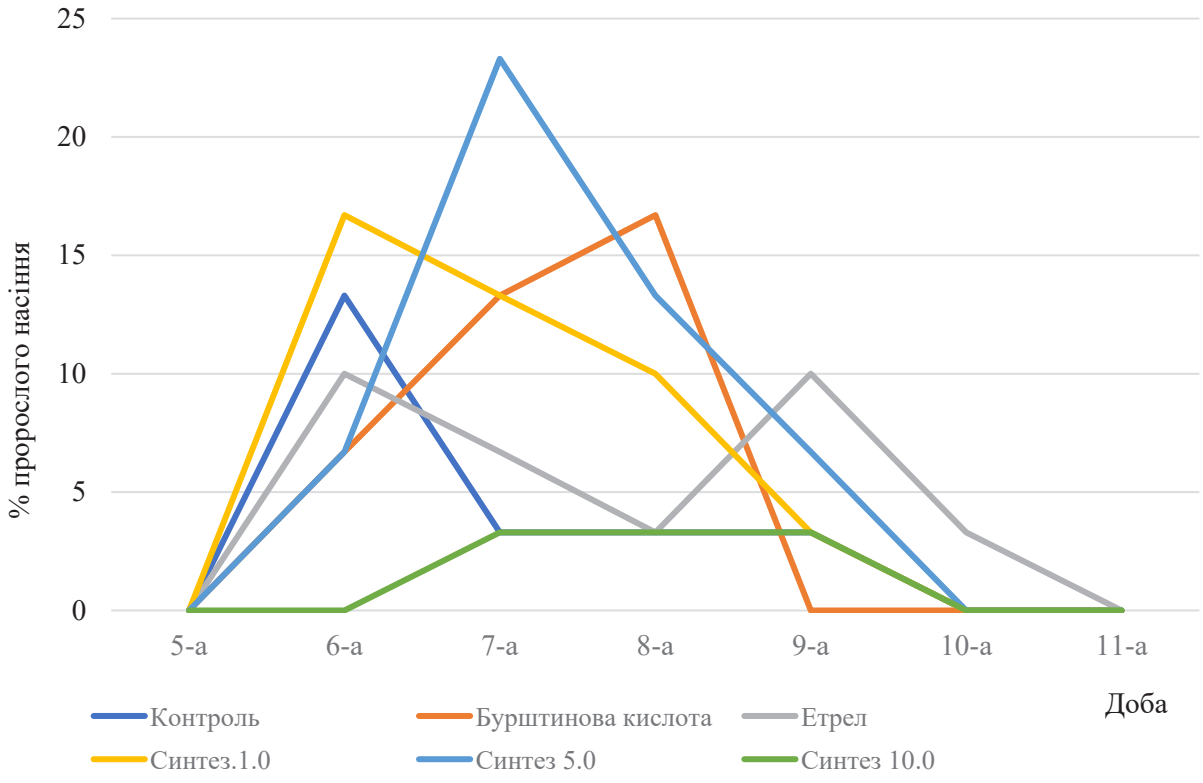

Рис. 1. Динаміка проростання насіння *S. splendens* 'Фарао'

вдвічі порівняно із контролем та підвищував енергію його проростання.

Важливо дослідити також дію як традиційних, так і синтезованих у лабораторії кафедри садово-паркового господарства (нині – аграрних технологій) ХНА стимуляторів росту на інтенсивність ростових процесів вегетативних органів проростків *S. splendens*. У таблиці 1 наведений цифровий матеріал щодо впливу біологічно активних речовин на морфометричні показники проростків дослідженого виду квітникової рослини. Вимірювання здійснено наприкінці досліду, при цьому аналізували довжину головного кореня і гіпокотилю проростків та площу сім'ядольних листків.

Як видно з одержаних даних, довжина головного кореня проростків *S. splendens* практично не зазнає змін у внесенні стимуляторів росту порівняно з контролем за винятком двох варіантів. Першим із яких є із застосуванням синтезованої речовини концентрацією 1,0 мкмоль/л, при цьому відзначається суттєва стимуляція ростових процесів коренів проростків. Їх довжина перевищує контрольні значення на 171,8%. І, навпаки, за умови внесення до середовища вирощування вищої концентрації синтезованої сполуки (10,0 мкмоль/л) спостерігається істотне пригнічення росту коренів – на 60,3% порівняно з контрольними рослинами.

Подібна тенденція щодо впливу найменшої (1,0 мкмоль/л) та найбільшої (10,0 мкмоль/л) концентрацій синтезованої сполуки виявлена й під час аналізу морфометричних показників гіпокотилю проростків *S. splendens*. Так, у варіанті із додаванням 1,0 мкмоль/л відзначається стимуляція ростових процесів цього вегетативного органа проростків: його довжина на 153,3% перевищує таку у контрольних рослин. У разі застосування синтезованої речовини концентрацією 10,0 мкмоль/л, як і у випадку з коренями проростків, спостерігається інгібування росту гіпокотилів на 74,1% порівняно з контрольними особинами. Що ж стосується варіанта із додаванням до середовища вирощування синтезованої речовини концентрацією 5,0 мкмоль/л, то в цьому випадку зафіксований стимулювальний ефект на ріст гіпокотилю, довжина якого перевищує контрольні величини на 23,3%.

Етрел, як уже зазначалося, практично не впливає на довжину коренів проростків *S. splendens* (різниця між величиною показника у дослідному варіанті і контрольному є статистично недостовірною). Але довжина гіпокотилю є статистично більшою (на 19,2%) за внесення етрелу порівняно з контрольними екземплярами *S. splendens*.

Такий традиційний стимулятор росту, як бурштинова кислота, не виявив значимого позитивного впливу на довжину гіпокотилю проростків порівняно з контрольним варіантом.

На момент закінчення експерименту у контрольних рослин *S. splendens* цілком сформувалися сім'ядольні та перші фотосинтезуючі листки (їх середня площа становила 0,06 см^2). У варіанті із додаванням бурштинової кислоти сім'ядольні листки сформувалися не на всіх проростках, але ті, що з'явилися, мали середню площу 0,064 см^2. За внесення етрелу появи сім'ядольних листків у дослідних рослин не відзначалося. Найменша концентрація синтезованої речовини (1,0 мкмоль/л) сприяла формуванню сім'ядольних листків, площа яких суттєво перевищувала контрольні показники – на 38,3% (середня площа 0,083 см^2) (рис. 2). Тоді як застосування синтезованої речовини концентрацією 5,0 мкмоль/л не дало подібного ефекту: у проростків *S. splendens* у цьому варіанті площа сім'ядольних листків була такою самою (0,06 см^2), як і у контрольному за культивування на дистильованій воді. Як уже зазначалося вище, проростки на середовищі з додаванням 10,0 мкмоль/л синтезованої сполуки наприкінці експерименту вкрилися рясним міцелієм пліснявого гриба, хоча на деяких із них почали формуватися сім'ядольні листки (середня площа 0,062 см^2).

В іншій нашій публікації [22] одержані результати подібної спрямованості. Хоча є і деякі відмінності, зокрема, серед проаналізованих традиційних препаратів на характеристики проростання насіння *Impatiens balsamina* Tom Thumb краще впливає

Таблиця 1

Вплив стимуляторів росту на морфометричні параметри проростків S. splendens 'Фарао' (11-а доба експерименту)

Варіант	Довжина головного кореня, см, n=30	Площа сім'ядольних листків, см^2, n=30	Площа перших фотосинтезуючих листків, см^2, n=30	Довжина гіпокотилю, см, n=30
Контроль	2,52±0,262	0,062±0,011	0,082±0,010	1,93±0,043
Бурштинова кислота	2,82±0,101**	0,064±0,013**	0,084±0,011**	2,06±00,069**
Етрел	1,89±0,114**	0,068±0,011**	0,086±0,011**	2,30±0,129**
Синтез. 1,0	6,85±0,267**	0,082±0,014**	0,091±0,012**	4,89±0,391**
Синтез. 5,0	3,26±0,202*	0,064±0,011*	0,085±0,014*	2,38±0,096*
Синтез. 10,0	1,076±0,186**	0,062±0,010*	0,083±0,011*	1,50±0,060*

*Примітка. * – Різниця статистично достовірна (p<0,05), ** – (p<0,001) порівняно з контролем (живильне середовище без ростостимуляторів). У кожному варіанті було 30 проростків S. splendens*

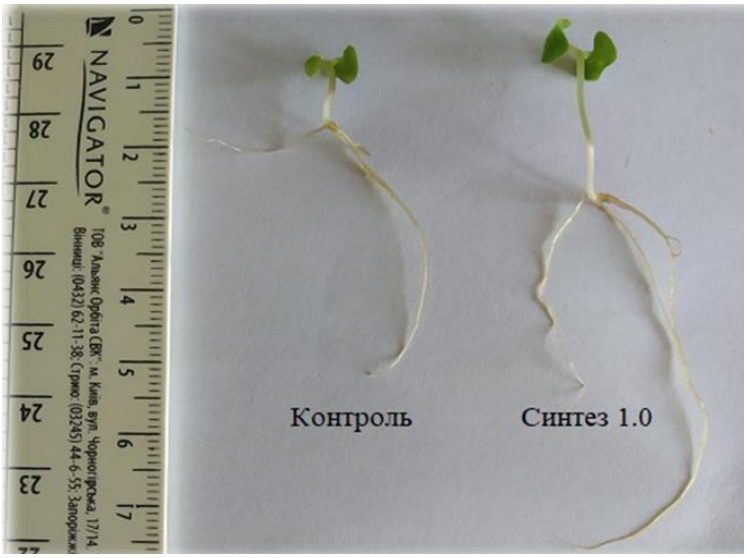

Рис. 2. Зовнішній вигляд проростків *S. splendens* ‘Фарао’ (11-а доба)

етрел, а щодо синтезованого – обидві концентрації стимулятору росту (як 1,0, так і 5,0 мкмоль/л) спричиняють майже однаковий позитивний ефект. Проте комплексна оцінка впливу тих самих стимуляторів росту (бурштинової кислоти, етрелу, 2-(піридин-4-ілтіо)оцтової кислоти) на характеристики проростання насіння та морфометричні показники проростків *Impatiens balsamina* Tom Tumb свідчить, що із традиційних препаратів більш виражений ефект має бурштинова кислота, а щодо синтезованої речовини – більша концентрація (5,0 мкмоль/л).

Отже, відзначається різноспрямована дія як традиційних стимуляторів росту, так і синтезованого (піридинове похідне оцтової кислоти), але за умови застосування різних концентрацій, на характеристики проростання насіння та початкові етапи онтогенезу рослин *S. splendens*. Перспективним є дослідження впливу цих речовин на віргінільні та генеративні особини *S. splendens*: на формування вегетативної маси та показники цвітіння.

Висновки

Початок проростання насіння у більшості досліджених варіантів припадає на 6-ту добу і триває до 9-ої включно, за винятком варіанта з бурштиновою кислотою (більш бурхливий перебіг цього процесу закінчується 8-ою добою) та варіанта з етрелом (пролонгування процесу закінчується на 10-ту добу). У варіанті із використанням синтезованої сполуки (10,0 мкмоль/л) проростання почалося на 7-у добу.

З усіх досліджених стимуляторів росту на схожість насіння, динаміку та енергію його проростання найкращим чином впливає синтезована сполука (2-(піридин-4-ілтіо)оцтова кислота) у концентраціях 1,0 і 5,0 мкмоль/л. Висока концентрація синтезованої речовини (10,0 мкмоль/л), навпаки, інгібує ці параметри. Серед традиційних ростимулюючих сполук за показниками схожості насіння бурштинова кислота та етрел мають практично однакову дію, але стосовно динаміки проростання насіння більш виражений позитивний вплив має саме бурштинова кислота. У варіанті з етрелом проростання насіння пролонговане у часі.

Досліджені сполуки практично не впливають на ростові процеси коренів *S. splendens*, за винятком синтезованої сполуки концентрацією 1,0 мкмоль/л (ефект стимуляції) та 10,0 мкмоль/л (інгібування росту). Встановлено, що стимуляція росту гіпокотилю відбувається у варіантах із застосуванням етрелу та синтезованої речовини (1,0 і 5,0 мкмоль/л). Бурштинова кислота не виявляє статистично достовірного впливу, а висока концентрація (10,0 мкмоль/л) синтезованої сполуки на 74,1% зменшує довжину цього вегетативного органа проростків *S. splendens* порівняно з контрольними особинами.

Найбільш виражений позитивний вплив на формування сім’ядольних листків у проростків *S. splendens* спостерігається у варіанті із синтезованою сполукою концентрацією 1,0 мкмоль/л: вони утворюються у всіх досліджених рослин, а їх середня площа на 38,3% перевищує цей показник у контрольних рослин.

За комплексною дією на процеси проростання насіння та початкові етапи онтогенезу рослин *S. splendens* ‘Фарао’ більш виражений позитивний вплив із традиційних ростстимуляторів виявила бурштинова кислота, а синтезована сполука 2-(піридин-4-ілтіо)оцтова кислота – у концентраціях 1,0 і 5,0 мкмоль/л, особливо за меншої із них.

Конфлікт інтересів: відсутній.

Conflicts of interest: authors have no conflict of interest to declare.

EFFECT OF 2-(PYRIDIN-4-YLTHIO)ACETIC ACID ON THE EARLY STAGES OF ONTOGENESIS OF *SALVIA SPLENDENS* SELLO EX NEES

S. O. Yakovlieva-Nosar, N. P. Derevianko, M. P. Zavhorodnii, N. V. Bondarchuk

Municipal Institution of Higher Education «Khortytsia National Educational and Rehabilitational Academy» of Zaporizhzhia Regional Council
krokus17.zp@gmail.com

Objective is to compare the effects of traditional plant growth stimulators and a synthesized pyridine derivative of acetic acid on seed germination characteristics and the growth intensity of *Salvia splendens* Sello ex Nees seedlings.
Materials and methods. The object of the laboratory experiment was seeds and seedlings of scarlet sage (*Salvia splendens* 'Pharaoh') (family Lamiaceae Lindl.). The experimental matrix included conventional growth stimulants (succinic acid and ethephon) as well as the compound 2-(pyridin-4-ylthio)acetic acid, resynthesized at the Department of Agrarian Technologies of the Khortytsia National Academy, at concentrations of 1.0, 5.0, and 10.0 μmol L^{-1}. Succinic acid, a metabolic stimulant, at a concentration of 10^{-3} M, and ethephon, a hormone-action stimulant, at a concentration of 10^{-4} M, were used as reference preparations. Distilled water served as the control. Seed germination, germination dynamics and energy, and morphometric parameters of seedlings (root and hypocotyl length, area of cotyledon leaves) were analyzed. The results were processed using statistical methods.
Results and discussion. It was found that the seed germination rate of *S. splendens* under the influence of both traditional growth stimulators (succinic acid, ethephon) and the synthesized compound (1.0 and 5.0 μmol/L) exceeded the control values. In the variant with the highest concentration (10.0 μmol/L) of the synthesized compound, significant inhibition of seed germination was observed (by 57.1%). Among the traditional growth stimulators, succinic acid had the most beneficial effect on seedling growth, while the synthesized compound showed particularly positive effects at the lower concentration (1.0 μmol/L). However, the highest applied concentration had a suppressive effect on the vegetative organ growth of *S. splendens* seedlings.
Conclusions. Considering the overall effect on seed germination and the initial stages of ontogenesis in *S. splendens* 'Farao,' succinic acid demonstrated the most pronounced positive influence among the traditional growth stimulators. The synthesized compound, 2-(pyridin-4-ilthio)acetic acid, showed a beneficial effect at 1.0 and 5.0 μmol/L, particularly at the lower concentration.
Keywords: scarlet sage, pyridine-derived growth stimulators, seed germination characteristics, morphometric parameters of seedlings.

References

1. Chernyak VM, Prokopchuk VM, Monarch VV. Analiz asortymentu i stanu kvitnykovo-dekoratyvnykh nasadzhen m. Vinnytsia ta shliakhy yoho polipshennia [Analysis of assortment and condition of flower decorative plantations in Vinnitsa and the ways of their improvement]. Silske hospodarstvo ta lisnytstvo – Agriculture and Forestry. 2016;3:185–92.
2. Ponomaryova OA, Mylnikova OA, Linnik AA. Asortyment ta stan kvitnykovykh nasadzhen Sobornoho raionu m. Dnipro [Assortment and condition of flower beds at the Soborniy district of Dnipro city]. Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy – Scientific reports of NULES of Ukraine. 2021;5(93); electronic journal. DOI: 10.31548/dopovidi2021.05.013.
3. Bessonova VP, Yakovlieva-Nosar SO, Ivanchenko OYe. Analiz kvitnykovoho ozelenennia u parkakh i skverakh Pravoberezhzhia mista Dnipra [Analysis of flower landscaping in parks and squares of the Right Bank of the Dnipro city]. Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific Bulletin of UNFU. 2022;32(1): 51–61. DOI: 10.36930/40320108.
4. Li Y, Husbands SM, Mahon MF, Traynor JR, Rowan MG. Isolation and chemical modification of clerodane diterpenoids from Salvia species as potential agonists at the kappa-opioid receptor. Chem Biodivers. 2007;4(7):1586–93. DOI: 10.1002/cbdv.200790138.
5. Vankar PS, Kushwaha A. *Salvia splendens*: source of Natural dye for Cotton and Silk fabric dyeing. Asian Dyer. 2010;2:431–42.
6. Narayan S, Mittal A. *Salvia splendens* Roem ex Schult: a reviev of phytochemical and pharmacological studies. World Journal of Pharmaceutical Research. 2015;4(8):957–64.
7. Gilman EF, Howe T. *Salvia splendens*. Fact Sheet FPS-528. Series of the Environmental Horticulture Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. 1999:3.
8. Błażewicz-Woźniak M, Madej J, Rtemi D, Wartacz W. The growth and flowering of *Salvia splendens* Sellow ex Roem. et Schult. under flowerbed conditions. Acta agrobotanica. 2012;65(2):99–108.
9. Cyntez i bioaktyvnist funktsionalizovanykh azotovmisnykh heterotsykliv [Synthesis and bioactivity of functionalized nitrogen-containing heterocycles] / ed. by A. Vovk. Kyiv: Interservice. 2021:332.
10. Tsygankova VA, Andrusevich YaV, Kopich VM, Vasylenko NM, Solomyannyi RM, Kachaeva MV, Bondarenko OM, Pilyo SG, Popilnichenko SV, Brovarets VS. New eco-friendly pea growth regulators based on synthetic azaheterocyclic compounds, thioxopyrimidine derivatives. Agri Res & Tech: Open Access J. 2025:29(1):556438. DOI: 10.19080/ARTOAJ.2025.29.556438.
11. Sahari I, Chibuzo I, Sobze JM. Effects of indole-3-butyric acid and age of stem cuttings on root morphology, growth, and survival of *Cornus sericea*. Journal of Forestry Research. 2023;34:433–40. DOI: 10.1007/s11676-022-01490-5.

12. Altun B. Effects of seasons and indole-3-buteric acid doses on the propagation of some native Rhododendron species by air layering technique in their natural habitats. BioResources, 2023;18(3):5209–21. DOI: 10.15376/biores.18.3.5209-5221.
13. Lesmes-Vesga RA, Chaparro JX, Sarkhosh A, Ritenour MA, Cano LM, Rossi L. Effect of propagation systems and indole-3-butyric acid potassium salt (K-IBA) concentrations on the propagation of peach rootstocks by stem cuttings. *Plants*, 2021;10(6):1151. DOI: 10.3390/plants10061151.
14. Gomes GLB, Scortecci KC. Auxin and its role in plant development: structure, signalling, regulation and response mechanisms. Plant Biology, 2021;23(6):894–904. DOI: 10.1111/plb.13303.
15. Zavhorodnii MP, Derevianko NP, Shkopynska TE, Brazhko OA, Kornet MM, Gencheva VI, Luchkevych ER, Shupenyuk VI. Vyvchennia vplyvu dii S-heterylsuktsynativ na mikroklonalne rozmnozhennia dekoratyvnykh roslyn [Study of the effect of S-heterocyclic succinates on microclonal propagation of ornamental plants]. *Pharmaceutical review*, 2024;3:21–34. DOI: 10.11603/2312-0967.2024.3.14838.
16. Petrusha YuYu, Omelyanchyk LO, Brazhko OA, Zavhorodnii MP. Method for stimulating cucumber seed germination (Ukrainian Patent No. 67848, IPC A01N43/00, A01N31/00). Applicant and Patent Holder: Zaporizhzhia National University. Application Date: July 4, 2011. Publication Date: March 12, 2012. Bulletin No. 5.
17. Tsygankova VA, Oliynyk OO, Kvasko OYu, Pilyo SG, Klyuchko SV, Brovarets V.S. Effect of plant growth regulators Ivin, Methyur and Kamethur on the organogenesis of miniature rose (*Rosa mini* L.) in vitro. International Journal of Medical Biotechnology & Genetics, 2022;S1(02):001, 1–8.
18. Tsygankova VA, Vasylenko NM, Andrusevich YaV, Kopich VM, Kachaeva MV, Popilnichenko SV, Pilyo SG, Brovarets VS. Use of thienopyrimidine derivatives to optimize Sorghum growth and photosynthesis during the vegetation period. Journal of Biomedical Research & Environmental Sciences. 2025J; 6(1):070–081. DOI: 10.37871/jbres2057.
19. Thongplew P, Kangsopa J, Hermhuk S, Tongkoom K, Bhuyar P, Insalud N. Optimizing Ethephon Concentrations for Male Plant Feminization and Enhanced Seed Yield in Dioecious Thai Hemp (*Cannabis sativa* L. cv. RPF3). *International Journal of Plant Biology*. 2025;16(3):111. https://doi.org/10.3390/ijpb16030111
20. Modarres M, Esmaeilzadeh Bahabadi S, Taghavizadeh Yazdi ME. Enhanced production of phenolic acids in cell suspension culture of *Salvia leriifolia* Benth. using growth regulators and sucrose. Cytotechnology. 2018;70(2):741–50. DOI: 10.1007/s10616-017-0178-0.
21. Tsygankova VA, Andrusevich YV, Shtompel OI, Solomyanny RM, Hurenko AO, Frasinyuk MS, Mrug GP, Shablykin O, Pilyo S, Kornienko AM, Brovarets V. New auxin and cytokinin related compounds based on synthetic low molecular weight heterocycles. In: Aftab T, editor. Auxins, Cytokinins and Gibberellins Signaling in Plants. Signaling and Communication in Plants. Cham: Springer Nature Switzerland AG; 2022:353–77. DOI: 10.1007/978-3-031-05427-3_16.
22. Zavgorodnyi M, Derevyanko N, Kobets O, Yakovlieva-Nosar S. Dekoratyvni roslyny za dii rehuliatoriv rostu roslyn [Ornamental plants under the influence of plant growth regulators]. Prospective directions of scientific research in engineering and agriculture: collective monograph / International Science Group. Boston: Primedia eLaunch. 2023: 334–39. DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.1.

Відомості про авторів

Яковлєва-Носарь С. О. – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри аграрних технологій, Комунальний заклад вищої освіти «Хортицька національна навчально-реабілітаційна академія» Запорізької обласної ради, Запоріжжя, Україна. E-mail: krokus17.zp@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0935-0483

Дерев'янко Н. П. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, завідувачка кафедри аграрних технологій, Комунальний заклад вищої освіти «Хортицька національна навчально-реабілітаційна академія» Запорізької обласної ради, Запоріжжя, Україна. E-mail: dereviankonataliia@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7255-493X

Завгородній М. П. – кандидат біологічних наук, доцент, професор кафедри аграрних технологій, Комунальний заклад вищої освіти «Хортицька національна навчально-реабілітаційна академія» Запорізької обласної ради, Запоріжжя, Україна. E-mail: zm311270@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7234-6153

Бондарчук Н. В. – здобувачка вищої освіти, Комунальний заклад вищої освіти «Хортицька національна навчально-реабілітаційна академія» Запорізької обласної ради, Запоріжжя, Україна. E-mail: sivonenkonata1986@gmail.com, ORCID: 0009-0001-2521-9952

Information about the authors

Yakovlieva-Nosar S. O. – PhD in Biology, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Agrarian Technologies, Municipal Institution of Higher Education «Khortytsia National Educational and Rehabilitational Academy» of Zaporizhzhia Regional Council, Ukraine. E-mail: krokus17.zp@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0935-0483

Derevianko N. P. – PhD in Agriculture, Associate Professor, Head at the Department of Agrarian Technologies, Municipal Institution of Higher Education «Khortytsia National Educational and Rehabilitational Academy» of Zaporizhzhia Regional Council, Ukraine. E-mail: dereviankonataliia@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7255-493X

Zavhorodnii M. P. – PhD in Biology, Associate Professor, Department of Agrarian Technologies, Municipal Institution of Higher Education «Khortytsia National Educational and Rehabilitational Academy» of Zaporizhzhia Regional Council, Ukraine. E-mail: zm311270@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7234-6153

Bondarchuk N. V. – higher education student, Municipal Institution of Higher Education «Khortytsia National Educational and Rehabilitational Academy» of Zaporizhzhia Regional Council, Ukraine. E-mail: sivonenkonata1986@gmail.com, ORCID: 0009-0001-2521-9952