МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕПАРТАМЕНТУ ОСВІТИ І НАУКИ
ВИКОНАВЧОГО ОРГАНУ КИЇВСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ
(КИЇВСЬКОЇ МІСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АДМІНІСТРАЦІЇ)

КИЇВСЬКЕ ТЕРИТОРІАЛЬНЕ ВІДДІЛЕННЯ МАЛОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ
(КИЇВСЬКА МАЛА АКАДЕМІЯ НАУК)

Відділення екології та аграрних наук
Секція: лісознавство

ВПЛИВ НАНОКРЕМНІЮ НА РОСТОВІ ПРОЦЕСИ НАСІННЯ ДЕЯКИХ ВИДІВ ГОЛОНАСІННИХ РОСЛИН

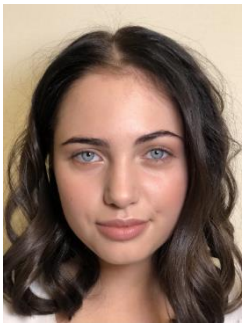
Роботу виконала:
Цурпанова Марина Вадимівна,
…….. року народження
учениця 11-Б класу
Українського медичного ліцею
Національного медичного
університету ім. О.О. Богомольця
Шевченківського району м. Києва.
Контактні телефони:……
Електронна адреса:……

Науковий керівник:
ПІБ, посада, вчене звання, контактні
телефони…..
Педагогічний керівник:
ПІБ, посада, вчене звання, контактні
телефони…..

КИЇВ – 2021

Комунальний позашкільний навчальний заклад
«Київська Мала академія наук учнівської молоді»

Анотація



Цурпанова Марина Вадимівна,
учениця 11 класу Українського медичного ліцею Національного медичного університету імені О.О. Богомольця.
Науковий керівник: ПІБ, посада, вчене звання….

ВПЛИВ НАНОКРЕМНІЮ НА РОСТОВІ ПРОЦЕСИ НАСІННЯ ДЕЯКИХ ВИДІВ ГОЛОНАСІННИХ РОСЛИН

Актуальною проблемою лісівництва є відновлення лісового покрову з використанням нових технології підготовки садивного матеріалу. В літературі відсутні дані, щодо ефективності впливу нанокремнію на весь спектр видів голонасінних рослин.

В роботі досліджено вплив різних концентрацій препарату нанокремнію на процеси проростання насіння *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe,, *Picea abies* L., *Ginkgo biloba* L. та вплив на деякі фітопатогени голонасінних рослин. Визначена антибактеріальна активність відносно тестових мікроорганізмів *Agrobacterium tumefaciens, Pseudomonas fluorescens* та *Bacillus subtilis*.

Аналіз результатів проведеного експерименту дозволяє зробити висновок, що препарат нанокремнію можна застосовувати для стимуляції енергії проростання у насіння сосни кримської, ялини європейської, гінкго дволопатевого.

Нанокремній виявляє антибактеріальну активність відносно *Agrobacterium tumefaciens* та *Pseudomonas fluorescens*, але не діє як антибактеріальний чинник на *Bacillus subtilis*.

Ключові слова: нанокремній, ялина європейська, сосна кримська, гінкго дволопатеве, енергія проростання насіння, фітопатогени голонасінних рослин.

ЗМІСТ

ВСТУП 4
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ 7
1.1. Загальний огляд виду *Picea abies* L., стан виду в Україні, перспектива використання ялини європейської в озелененні лісів України 7
1.2. Загальний огляд виду *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe, перспектива використання сосни кримської в озелененні лісів України 9
1.3. Загальний огляд виду *Ginkgo biloba* L., перспектива використання гінкго дволопатевого в озелененні паркових зон України 10
1.4. Роль кремнію та нанокремнію на процеси росту у рослин 11
РОЗДІЛ 2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА 14
2.1. Матеріали і методи 14
2.2. Вплив різних концентрацій нанокремнію на енергію проростання насіння сосни кримської (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) 15
2.3. Вплив різних концентрацій нанокремнію на енергію проростання насіння ялини європейської (*Picea abies* L.) 16
2.4. Вплив різних концентрацій нанокремнію на енергію проростання насіння гінкго дволопатевого (*Ginkgo biloba* L.) 17
2.5. Визначення антибактеріальної активності нанокремнію відносно деяких фітопатогенів голонасінних рослин 17
ВИСНОВКИ 20
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 21
ДОДАТКИ 24

ВСТУП

Рослини – це національне багатство кожної країни. З розвитком науково-технічної революції роль рослин в житті людини не зменшується. Навпаки, вона зростає, стає все більш різноманітною і помітною. Сучасний рослинний світ несе на собі глибокий відбиток людської діяльності. У міру подальшої інтенсифікації цієї діяльності буде тривати процес переоцінки ролі, яку відіграє рослинність в цілому і окремі її види в біосфері. Однією з найважливіших проблем, що стоїть сьогодні перед людством, є проблема раціонального використання і збереження рослинних ресурсів, зокрема лісів [19].

Близько 16% території України – ліси. Проте, деякі автори [18] вважають, що фактична лісистість України є недостатньою, а в багатьох областях загрозливо низькою. Ліси сконцентровані переважно в Поліссі та в Українських Карпатах. В Україні лісистість не досягає оптимального рівня для якнайкращого впливу на клімат, ґрунти, водні ресурси, пом’якшення наслідків ерозійних процесів [16].

Крім антропогенних факторів, стан лісів погіршує зміна кліматичних умов: суттєве зменшення вологості повітря, характерне посилення континентального клімату, аномалії режиму снігового покриву. Це створює сприятливі умови для розвитку шкідливих комах і збудників хвороб - стовбурових нематод, короїдів, жуків-вусачів, грибних захворювань тощо. Причому, особливо вразливими є штучно посаджені ліси [18].

Голонасінні рослини (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe; *Picea abies* L., *Ginkgo biloba* L.) завдяки декоративності, довговічності, санітарно-оздоровчим якостям і невибагливості до едафічних умов у місцях природного ареалу, є цінними лісотвірними видами. Проте, за даними ряду авторів [14], близько 362 тис. га деревостанів голонасінних є стиглими і перестиглими, поступово деградують й потребують проведення лісовідновлювальної рубки з подальшим заліснення. Тож потрібно застосовувати певні маніпуляції для кращого та швидшого зростання голонасінних рослин, а також протидії їх хвороботворним чинникам для запобігання зникнення цих цінних культур.

Для озеленення можуть бути використані ялина звичайна (*Picea abies* L.) та сосна кримська (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe). Ці культури голонасінних рослин є стійкими до різних умов середовища, тіньовитривалі, а також виділяють фітонциди у повітря [7]. Звідси можна зробити висновок, що вони є перспективною культурою для заліснення в Україні.

Для зеленого будівництва паркових зон можна обрати таку голонасінну культуру як *Ginkgo biloba* L., котра в багатьох країнах, в тому числі і в Україні, культивується як декоративне дерево [3]. Воно чудово витримує промислові задимленості, невибагливе до ґрунтів [20].

Стресові чинники середовища спричиняють порушення процесів росту і розвитку таких голонасінних як ялина звичайна, сосна звичайна, сосна кримська, тощо, на ранніх етапах онтогенезу цих рослин. Для збільшення кількості високоякісного садивного матеріалу використовують широкий спектр добрив [18]. Проростання насіння голонасінних залежить від кількості і якості біологічно активних речовин, потрібних для розвитку зародка. Різноманітні мікродобрива використовують під час передпосівної обробки насіння, тому одним з проблемних питань лісознавства є пошук засобів для мобілізації потенційних можливостей геному голонасінних рослин.

Існує багато статей, що доводять фітостимулювальний та водночас антибактеріальний ефект на голонасінні культури деяких мікродобрив, наприклад, таких як «Аватар-1» [14], проте ні в одному з них ще не було досліджено впливу препарату нанокремнію на вище сказані чинники.

Відомо, що наночастки кремнію стимулюють процеси росту і стійкість сільськогосподарських культур до стресів [25], прискорюють процеси дозрівання насіння. Деякі науковці вважають, що основна функція кремнію в рослинах це підвищення здатності протистояння до фітопатогенів [6].

Актуальність. Поступова деградація лісового покриву потребує розробки заходів відновлення лісового масиву. Для кращого та швидшого відновлення лісостану, потрібно впроваджувати нові технології підготовки садивного матеріалу для лісових та паркових зон. Одним з актуальних питань лісознавства є пошук

засобів для мобілізації потенційних можливостей геному голонасінних рослин. Перспективним препаратом в цьому напрямку постає нанокремній.

Мета дослідження: вивчення впливу нанокремнію на процеси проростання насіння *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe, *Picea abies* L., *Ginkgo biloba* L. та вплив нанокремнію на деякі фітопатогени голонасінних рослин для подальшого використання його як стимулювального засобу росту насіння.

Об'єкт: насіння голонасінних рослин *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe, *Picea abies* L., *Ginkgo biloba* L.

Предмет: вплив нанокремнію на процеси проростання насіння досліджуваних видів рослин після обробки препаратом нанокремнію; антибактеріальний вплив нанокремнію на фітопатогени.

Методи: диско-дифузійний метод, метод визначення енергії проростання насіння.

Завдання:

1) вивчення впливу препарату нанокремнію на процеси проростання деяких видів голонасінних рослин;

2) вивчення антибактеріальної активності нанокремнію відносно *Agrobacterium tumefaciens, Bacillus subtilis, Pseudomonas fluorescens*;

3) аналіз результатів експериментів та висновки.

Практичне значення: препарат нанокремнію може бути використаний для вирощування високоякісного садивного матеріалу сосни кримської, ялини звичайної та гінкго дволопатевого в лісових і садово-паркових господарствах.

Публікації: XVII Міжнародна наукова конференція «Молодь і поступ біології» (м. Львів), III Міжнародна науково-практичної конференції «Лісівнича освіта і наука: стан, проблеми та перспективи розвитку» Малинського лісотехнічного коледжу

(м. Малин), Всеукраїнська науково-практична студентська конференція «Науковий пошук молоді для сталого розвитку лісового комплексу та садово-паркового господарства» НУБіП України (м. Київ, I місце).

РОЗДІЛ 1
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Загальний огляд виду *Picea abies* L., стан виду в Україні, перспектива використання ялини європейської в озелененні лісів України

Ялина звичайна (*Picea abies* L.) – це європейський вид, вічнозелене дерево, зростає в верхньому ярусі хвойних і змішаних лісів. Насіння у *Picea abies* L. крилате, дозріває в вересні - жовтні, і розсіюється в кінці зими наступного року. Зустрічається в Карпатах, рідше в Прикарпатті, місцями в Поліссі, в західних районах лісостепу.
В горах піднімається на висоту 1800 м над рівнем моря [4]. Деревина ялини легка, м'яка, з високим вмістом целюлози і малої смолистістю. Є основною сировиною для целюлозно-паперової промисловості, її також використовують як будівельний матеріал [7]. У хвої міститься ефірна олія, аскорбінова кислота, дубильні речовини, смола, мінеральні солі, фітонциди. З неї виготовляють вітамінні концентрати та протицингові настої.

Терпентин, природну смолу, затверділий в результаті окислення і підсихання, збирають з дерев на уражених місцях стовбура. Сухою перегонкою деревини отримують дьоготь і активоване вугілля. Терпентин і каніфоль входять до складу медичних пластирів. Скипидар використовують в медицині, він міститься у складі мазей і бальзамів [19]. Можна зробити висновок, що ялина європейська є не тільки основною лісовою культурою та перспективною у використанні в якості для озеленення, а й активно використовується у промисловості і медицині.

Ялину європейську використовують в озелененні, декоративному садівництві та лісовому господарстві для створення насаджень різноцільового призначення. Зокрема, вже близько 300 років цей вид широко використовують у декоративному садівництві Європи. У нашій країні досвід культивування ялини сягає 150-200 років [18]. За цей період узагальнено багатий досвід застосування хвойних видів і,

зокрема, ялин у різних садово-паркових ландшафтах (лісопарки, парки, дендропарки, присадибні ділянки тощо).

Створювати штучні лісові насадження з використанням ялини європейської на території Правобережного Лісостепу почали з кінця XIX століття. Її висаджували разом із дубом звичайним як швидкорослий деревний вид. Велика кількість авторів [5, 14] вказували на високу продуктивність мішаних культур дуба та ялини, а також чистих ялинових деревостанів [4, 14].

В умовах Правобережного Лісостепу України ялина європейська росте у монодомінантних і мішаних насадженнях, більшість яких (80%) було створено у повоєнні роки (1945 – 1965 рр.) [18]. Вважалося, що такий захід у подальшому забезпечить отримання високопродуктивних, біологічно стійких деревостанів [10]. Проте з часом санітарний стан ялинників в Україні почав погіршуватися [5].

У Правобережному Лісостепу пристигаючі деревостани (вік 51 - 70 років) займають 43,5% від загальної площі ялинників. Стиглі і перестійні насадження становлять понад 21,0%, а молодняки - 13,9%. Загалом насадження ялини європейської характеризуються високими лісівничо-таксаційними показниками. Проте, частка участі ялини у складі штучних насаджень з часом зменшуються [18]. Порівняно невелика сумарна відносна площа молодняків (13,9%) свідчить про зменшення обсягів створення штучних ялинових деревостанів у Правобережному Лісостепу та в Україні в цілому впродовж останніх чотирьох десятиліть.

Негативним аспектом стійкості ялинників на цей час є наявність значної площі, на якій ростуть стиглі та перестійні ялинові деревостани (21,0 %). З цього погляду особливу увагу варто приділити насадженням ялини європейської, вік яких перевищує 50 років, оскільки саме у цьому віці невчасне проведення необхідних лісогосподарських заходів призводить до всихання деревостанів. Підвищення середнього показника бонітету ялини європейської в насадженнях за несприятливої дії кліматичних чинників могло відбутися внаслідок попереднього відпаду біологічно нестійких, слабопродуктивних дерев.

Зважаючи на процеси деградації насаджень *Picea abies* L., важливе її господарське і соціальне значення, особливої актуальності набувають дослідження

стану, росту, розвитку та підвищення біологічної стійкості ялинників у різних ґрунтово-кліматичних умовах.

1.2. Загальний огляд виду *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe, перспектива використання сосни кримської в озелененні лісів України

Південні схили Головної гряди, що круто обриваються до моря, вкриті сосновими лісами. Серед хвойних видів вирізняється унікальна кримська сосна – *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) [16]. На відміну від сосни звичайної , вона величніша, має довгу тверду хвою. Кримська сосна запобігає висиханню джерел, захищає ґрунт від селевих потоків, годує тварин й птахів, і є для них природним укриттям, служить своєрідним фільтром атмосфери, збагачує її. Вона формує той зцілювальний клімат, яким здавна славиться Південний берег Криму.

Сосна кримська — є підвидом європейської чорної сосни (*Pinus nigra* Arn.), раніше розглядався як окремий вид. *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe за стійкістю в міських умовах та декоративністю хвої близька до сосни чорної, адже є жаростійкою і посухостійкою культурою.

Сосна Палласа отримала свою назву на честь німецького натураліста П.С. Палласа, який, перебуваючи в Криму у XVIII ст., вперше описав її під час вивчення фауни Криму. Природній ареал сосни кримської – Крим, Кавказ, о. Кріт, о. Кіпр, Східні Балкани, Туреччина [17]. В Криму утворює ліси на схилах яйли на висоті 800–1000 м. На Кавказі трапляється південніше Геленджика в приморській смузі на висоті 300 м над рівнем моря.

У лісах Гірського Криму сосна Палласа, або сосна кримська, є однією з основних лісових видів. Її деревина використовується в якості будівельного матеріалу, джерела скипидару і каніфолі, при підсочці дає хороший вихід живиці. Декоративна, придатна для лісозахисних смуг, залісення та закріплення пісків [19].

Сосна кримська є досить пластичною деревиною породою і задовільно росте у всіх типах лісорослинних умов від сухого бору до свіжого груду [13]. Тому вона є цілком придатною для використання в озелененні по всій Україні і за її межами [17].

1.3. Загальний огляд виду *Ginkgo biloba* L., перспектива використання гінкго дволопатевого в озелененні паркових зон України

Гінкго дволопатеве – листопадна голонасінна рослина родини Гінкгових. Дводомне дерево, релікт третинного періоду. Насіння кістянковидне, схоже на жовту сливу. Цвіте гінкго переважно у травні. Дерева виду вважаються довговічними (досягає віку 1000 років) та світлолюбними. Вони надзвичайно стійкі до абіотичних і біотичних чинників, техногенного й радіаційного забруднення повітря та ґрунту. Гінкго дволопатеве — відносно теплолюбна рослина, проте витримує низькі температури [3].

Хімічний склад листя дуже різноманітний, адже наявні такі речовини як: кемпферол, кверцетин, гінктетип, білобетин, аментофлавон (біфлавоноїд), нонакозан, гексакозанол, шикімова, ліноленова, хінна, гідрогінкголова кислоти та інші. В самому насінні міститься до 13% білка, 68% крохмалю, 3% жирної олії, крім того є пентозан, каротин, гінкгетин, білобол та гінол [3].

Дерева гінкго дволопатевого - об’єкт промислового плантаційного вирощування (США, Франція, Китай). Перспективним напрямом є створення спеціальних гінгкових плантацій з метою заготівлі листя для потреб фармацевтичної промисловості [20], це пов’язано з китайською медициною. Згідно вченню синтоїзму, сік гінкго дає силу і безсмертя. Цілющі властивості гінкго описані в давньокитайській літературі ще 2800 років до н.е. [9].

Листя (Folia Ginkgo bilobae) збирають протягом усього вегетаційного періоду і восени [20]. Фармакологічні препарати з листя гінкгового дерева виявляють спазмолітичну, судинорозширювальну і бактеріостатичну дію. Експериментально й клінічно підтверджено, що вони прискорюють кровообіг у периферичній і мозковій ділянках, і сприяють постачанню кисню до них, причому не виявляють жодної побічної дії, не впливають на кров’яний тиск і частоту серцевих скорочень

та дихальних актів [3]. Гінкго дволопатеве настільки унікальне дерево, що в сучасному рослинному світі воно, мабуть, чи не єдине, яке являє собою і вид, і рід, і родину. Походить *Ginkgo biloba* L. з Китаю [3].

Викопним рештkам найдавніших рослин з родини гінкгових не менше 300 мільйонів років. Рештки знаходять на Україні та в горах Уралу, в Іспанії, на Алясці, в Польщі, Гренландії. І були вони не тільки численними, а й різноманітними. Велика кількість скам'янілих решток дає змогу стверджувати, що саме вони були основною лісотвірною породою серед листопадних дерев помірної смуги всієї північної півкулі. Площа розселення гінкгових – величезна [9].

У помірній зоні лідерство захоплюють голонасінні рослини на чолі з гінкговими деревами. Культивується *Ginkgo biloba* L. в багатьох країнах. Найбільшу кількість осередків інтродукції гінкго дволопатевого відмічено в Європі та Східній Азії, де цей різновид є досить поширеним екзотом відкритого ґрунту [20].

Вперше в Україні *Ginkgo biloba* L. було інтродуковане до Кременецького ботанічного саду у 1811 р. [20]. У сучасних умовах північна межа інтродукції в Україні сягає Ніжина, на південь розповсюджене до Одеси, на захід до Ужгорода й Львова, на схід — до Харкова.

Гінкго дволопатеве добре росте і дає насіння навіть на широті Києва. Так дорослий екземпляр цього рідкісного виду чудово розвивається на території Київського Політехнічного інституту.

Для озеленення південних міст *Ginkgo biloba* L. дуже перспективне дерево. Воно чудово витримує умови промислової задимленості, невибагливе до ґрунтів, стійке до заражень грибковими захворюваннями, майже не пошкоджується комахами [20].

1.4. Роль кремнію та нанокремнію на процеси росту у рослин

Кремній є одним з найрозповсюджених елементів у складі земної кори і ґрунту [15]. Однак основна його частина перебуває у вигляді нерозчинних речовин, і

тому являється недоступною рослині. Кремній накопичується рослинами в кількостях, які часто перевищують величину поглинання основних макроелементів (N, K, P) [12].

На даний момент, вже досліджено неабиякий позитивний вплив нанокремнію на процеси формування ґрунтової родючості, а також участь в онтогенезі сільськогосподарських рослин.

Відзначено ряд причин, що пояснюють відсутність широкого використання кремнію в землеробстві [23]:

- відсутність надійної інформації про забезпеченість ґрунтів рухомими формами кремнію, і її співвіднесення з потребами в Si сільськогосподарських культур;
- відсутність контролю вмісту кремнію в рослинних тканинах;
- думка, що існують рослини-акумулятори кремнію і інші рослини, які його не накопичують (хоча насправді всі рослини містять певну кількість кремнію, який необхідний для їх росту і розвитку);
- брак досліджень, що демонструють економічні переваги застосування кремнію, відсутність пропаганди користі кремнію в стресових умовах вирощування сільськогосподарських культур, а також інформації про кремній як про важливий живильний елемент для рослин.

У глинистих ґрунтах міститься 20-35% кремнію, в піщаних ґрунтах – 45 - 49% [12], в верховому торфі - 1%. Розчинність цих форм низька, і вони біогеохімічних немобільні. Розчинними є полікремнієві і монокремнієві кислоти [22].

Надходження кремнію в кореневу систему відбувається пасивним і активним шляхом. Пасивне поглинання повністю регулюється транспіраційним потіком води через ксилему, а активний транспорт здійснюється білками-переносниками, розташованими в клітинних мембранах кореня [25].

Різні види рослин мають різну здатність до активного і пасивного поглинання кремнію [25]. Вважається, що високий вміст його, наприклад в рисі, пов'язаний не з дифузією, а з активним транспортом через клітинну мембрану. Встановлено, що для цього процесу необхідна енергія, а низька температура і метаболічні репрессори

інгібують цей процес. Робота білків-переносників кремнію визначається специфічними генами, які вперше були досліджені в 1997 р. у діатомових водоростей, а потім в рисі та в інших культурах [24]. Припущення, що перенесення гена діатомових водоростей на тютюн мав посилити надходження в нього Si, не справдилося, що дозволило зробити висновок про відмінності в генетичних механізмах поглинання цього елемента нижчими і вищими рослинами.

Вивчення поглинання і транспорту кремнію з силікату натрію і калію, та наночастинок кремнію рослинами салату і пшениці показало, що кремній був виявлений у всіх рослинах, а транслокація його в пагони була більшою при надходженні з розчинних джерел, ніж з наночастинок. Зі зменшенням розмірів наночастинок доступність кремнію збільшувалася.

Дефіцит кремнію обмежує ріст коренів. На злакових, цитрусових, овочевих культурах і кормових травах показано, що поліпшення харчування кремнієм дозволило збільшити кількість вторинних і третинних коренів (на 20-100%). Під дією кремнію змінюється архітектура клітинної стінки, вона зміцнюється, і це підвищує
її здатність до розширення [15].

Кремній, будучи одним з найпоширеніших елементів у природі, відіграє колосальну роль в біогеохімічному кругообігу речовин, присутній у всіх живих організмах, є активним елементом в різних біологічних системах. Він представляє великий інтерес для землеробства, так як сприяє зростанню врожаїв, підвищення якості продукції, захисту рослин від стресів біотичної і абіотичної природи. В організмі людини й тварин він виконує різноманітні функції, пов'язані зі збереженням здоров'я та довголіття.

Разом з тим питання про функції кремнію в голонасінних і не тільки рослинних організмах все ще недостатньо вивчений, і залишається предметом обговорення.

РОЗДІЛ 2
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1. Матеріали і методи

Для визначення енергії проростання керувались існуючим методом [15]. Перед початком досліду вимочувалось насіння ялини європейської, сосни кримської та гінкго дволопатевого у концентрації 0,7% розчину нанокремнію на 24 години.

Для дослідження кожної концентрації препарату нанокремнію (0,035%, 0,07%, 0,14%) відносно ялини європейської та сосни кримської, окремо поміщали на фільтрувальний папір по 100 насінин кожного виду, по 10 у кожній чашці Петрі та відповідно у контролі з водою. Фіксували результати проростання на 5, 7, 10 та 15 день. Енергію проростання у відсотках вираховували на 5 та 7 добу, а абсолютну схожість на 15 добу.

Насіння гінкго дволопатевого окремо поміщали 40 насінин, по 5 насінин у 2-х чашках Петрі для кожної концентрації та відповідно у контролі з водою. Фіксували результати проростання на 10 та 15 добу. Енергію проростання у відсотках вираховувала на 10 добу, а абсолютну схожість на 15 (Додаток Д).

Диско-дифузійний метод [11]. Вважається, що антибактеріальна активність нанокремнію пов’язана з його здатністю ущільнювати оболонки рослинних клітин.

Для того, щоб перевірити наявність прямої антибактеріальної дії нанокремнію та композиту нанокремнію з CuO, був проведений експеримент по визначенню зон лізису бактерій в присутності дисків, змочених в 0,7% розчині нанокремнію та його

композиту. Для експерименту ми використали чисті культури таких фітопатогенів голонасінних рослин, як *Agrobacterium tumefaciens, Pseudomonas fluorescens* та *Bacillus subtilis* (Додаток Г).

2.2. Вплив різних концентрацій нанокремнію на енергію проростання насіння сосни кримської (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe)

Кількість пророслих насінин, енергія проростання та абсолютна схожість є основними інтегральними показниками процесів росту та розвитку при перетворенні зародку в насінні у проросток. Застосування нанокремнію в концентрації 0,035% та в концентрації 0,07% зумовило стимулюючий вплив на енергію проростання сосни кримської вже на 5-ту добу (Додаток А, Ж).

У середньому в контрольному варіанті на 5-ту добу проросла 31 насінина; на 7-му добу – 40; на 10-ту добу – 19; на 15-ту добу – 5. Таким чином енергія проростання на 5-ту добу становила 31% , абсолютна схожість на 15-ту добу – 95%.

При концентрації препарату нанокремнію 0,035% енергія проростання насіння сосни кримської на 5 добу – 42%, що на 5% більше, ніж у контролі. На 7-му добу енергія проростання становила 75%, що на 10% більше ніж контрольний варіант. Абсолютна схожість насіння при обробці концентрацією 0,035% нанокремнію – 96%.

При концентрації нанокремнію 0,07% енергія проростання насіння сосни кримської на 5 добу – 62%, що на 31% більше, ніж у контрольному варіанті.

На 7-му добу енергія проростання в даному досліді становила 92%, що перевищує контроль на 21%, при абсолютній схожості – 96,9%.

При концентрації 0,14% нанокремнію енергія проростання насіння сосни кримської зменшилася на 31% на 5-ту добу відносно контролю; на 64% на 7-му добу при абсолютній схожості – 14%.

Таким чином можна зробити висновок, що оптимальною концентрацією нанокремнію для стимуляції проростання насіння сосни кримської становить 0,07%.

2.3. Вплив різних концентрацій нанокремнію на енергію проростання насіння ялини європейської (*Picea abies* L.)

Результати досліду, щодо впливу різних концентрацій нанокремнію на енергію проростання насіння ялини європейської, представлені в Додатку Б та Додатку З.

В контрольному варіанті енергія проростання насіння на 5-ту добу становила 21%, на 7-му – 30,3%, а абсолютна схожість – 37,3%.

Як свідчать результати проведеного експерименту, нанокремній в концентрації 0,035% стимулює проростання насіння ялини. На 5-ту добу енергія проростання становила 31,5%; на 7-му – 43,1%; а абсолютна схожість – 45%.

При концентрації нанокремнію 0,07% енергія проростання насіння ялини європейської на 5-ту добу становила – 39,1%; на 7-му – 57,1%; а абсолютна схожість насіння – 66,1%. Таким чином абсолютна схожість насіння ялини європейської під дією концентрації 0,07% нанокремнію у порівнянні з контролем підвищилась на 28,8%.

В той же час концентрація нанокремнію 0,14% виявилась токсичною. Енергія проростання на 5-ту добу зменшилась на 4%, на 7-му добу – на 3%, а абсолютна схожість стала меншою на 9,3%.

Таким чином можна зробити висновок, що оптимальною концентрацією для інтенсифікації процесів схожості сосни кримської та ялини європейської є концентрація – 0,07%.

Обидва досліджуваних види хвойних дерев по-різному реагували на нанокремній. У сосни кримської абсолютна схожість підвищилася на 2%, а у

ялини європейської на 28,8% при концентрації нанокремнію 0,07%, порівняно з контролем.

2.4. Вплив різних концентрацій нанокремнію на енергію проростання насіння Гінкго дволопатевого (*Ginkgo biloba* L.)

Результати досліду, щодо впливу різних концентрацій нанокремнію на енергію проростання насіння гінкго дволопатевого представлені в додатку В та додатку І.

Нанокремній в усіх досліджуваних концентраціях стимулював проростання насіння гінкго дволопатевого. В контрольному варіанті енергія проростання насіння на 10-ту добу становила 27%, а абсолютна схожість – 39%. При концентрації нанокремнію 0,035% енергія проростання збільшилась на 11%, а абсолютна схожість на 12%, порівняно з контролем.

Концентрація нанокремнію 0,07% збільшила енергію проростання насіння гінкго дволопатевого на 10-ту добу на 50%, а абсолютну схожість на 59%. Подібний результат спостерігався і при концентрації нанокремнію 0,14%, енергія проростання на 10-ту добу збільшилась на 52%, а абсолютна схожість на 59%.

Отримані результати свідчать, що оптимальним розчином нанокремнію для стимуляції проростання гінкго дволопатевого є концентрація – 0,14%.

Під дією нанокремнію абсолютна схожість насіння сосни кримської збільшилась на 2%, ялини європейської – на 28,8% , а гінкго дволопатевого – на 59% порівняно з контролем. Таку неоднакову реакцію досліджуваних голонасінних рослин на нанокремній можна пояснити різною чутливістю генома цих рослин до кремнію. Генетична віддаленість соснових та гінкгових може бути причиною більшої чутливості гінкго дволопатевого до дії нанокремнію.

2.5. Визначення антибактеріальної активності нанокремнію відносно деяких фітопатогенів

Ряд авторів [16, 22] вважає, що антибактеріальна активність нанокремнію пов'язана з його здатністю ущільнювати оболонки рослинних клітин.

Для перевірки наявності прямої антибактеріальної дії нанокремнію та композиту нанокремнію з CuO, ми провели експеримент по визначенню зон лізису бактерій в присутності дисків, змочених в 0,7% розчині нанокремнію та його композиту. Для проведення експерименту ми використали чисті культури фітопатогенів голонасінних рослин: *Agrobacterium tumefaciens, Pseudomonas fluorescens.* Також в схему експерименту було додано чисту культуру - *Bacillus subtilis*.

Серед голонасінних рослин відомо 38 видів, в яких паразитує *Agrobacterium tumefaciens*, що викликає хворобу бородатість коренів (або «кореневий рак») [8].
В літературі [8] є посилання, що цей збудник може викликати захворювання сосни звичайної та ялини європейської.

Збудником «wilt» (або «в'янення коренів»), як у голонасінних, так і у покритонасінних може бути *Pseudomonas fluorescens* [21].

Результати проведеного нами експерименту представлені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Антибактеріальна активність препаратів нанокремнію відносно деяких фітопатогенів

Тестовий мікроорганізм	Зона лізису (мм)	
	SiO_2	SiO_2 + CuO

Agrobacterium tumefaciens	10±0,8	12,2±1,1
Pseudomonas fluorescens	7,5±0,1	10,3±0,2
Bacillus subtilis	–	–

Як свідчать представлені дані, нанокремній в комплексі з оксидом міді має значну антибактеріальну дію, як відносно *Agrobacterium tumefaciens*, так і відносно *Pseudomonas fluorescens.*

В той же час обидва препарати нанокремнію не діяли на сінну паличку – *Bacillus subtilis*. Такий результат дослідження свідчить на користь гіпотезі про захисну функцію нанокремнію щодо фітопатогенних бактерій і підтверджує літературні дані про антибактеріальний ефект представлених у досліді препаратів.

ВИСНОВКИ

1. Концентрація нанокремнію 0,07% – 0,14% збільшувала енергію проростання насіння гінкго дволопатевого на 50%, а абсолютну схожість на 59%. Відмінність в реакціях різних представників голонасінних на нанокремній можна пояснити неоднаковою чутливістю геному цих рослин до кремнію, як стимулятора експресії генів.
2. Під дією концентрації препарату нанокремнію 0,07% на 15-ту добу абсолютна схожість насіння сосни кримської підвищується на 2%, а ялини європейської на 28,8%. Ялина європейська є більш чутливою до дії нанокремнію в період формування проростків.
3. Концентрації розчинів нанокремнію 0,035% – 0,07% стимулюють процеси розвитку зародків насіння сосни кримської та ялини європейської. Оптимальною концентрацією розчину нанокремнію для стимуляції енергії проростання у насіння обох видів є концентрація 0,07%.
4. Концентрація нанокремнію 0,14% виявлена токсичною для обох видів соснових.
5. Препарат нанокремнію може бути використаний для вирощування високоякісного садивного матеріалу сосни кримської, ялини звичайної та гінкго дволопатевого в лісових і садово-паркових господарствах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Василевський О. Г. Аналіз стану та продуктивності різновікових дубово-ялинових насаджень Поділля. – 2009. Лісівництво і Агролісомеліорація Харків: УкрНДІЛГА, 2009. – Вип. 115

2. Водяницький Ю.Н. Дефицит кремния в некоторых почвах и пути его устранения // Агрохимия. 1984. № 8. С. 127–131.

3. Гродзінський А. М. Лікарські рослини : енциклопед. довідник / [А. П. Лебеда, Н. І. Джуренко, О. П. Ісайкіна та ін.] ; за ред. А. М. Гродзінського. – Київ: "Укр. енциклопедія" ім. М. П. Бажана ; Олімп, 1992. – 543 с.

4. Загальна характеристика лісів України // Державне агентство лісових ресурсів України. URL: http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art_id=62921 (дата звернення: 05.09.2020).

5. Козловський М. П., Крамарець В. О., Целень Я. П. Сучасні тенденції та причини всихання лісостанів ялини європейської в Бескидському регіоні й шляхи покращення їхнього санітарного стану //Наукові основи збереження біотичної різноманітності. – 2013. – Т. 4. – №. 11. – С. 167-180.

6. Крамарев С. М., Полянчиков С. П., Ковбель А. И. Кремний и защита растений от стресса: теория, практика, перспективы //Quantum. Режим доступа: http://quantum. ua/articles/art_06. pdf. – 2009.

7. Лавренова Г.В., Лавренов В.К, Лавренов Ю.В Лекарственные травы для Вас, 1994. – 352 с.

8. Лазарев А. М., Игнатов А. Н., Воронина М. В. Бактериальный рак плодовых, ягодных и декоративных культур, вызываемый *Agrobacterium spp* // Plant Protection News. – 2020. – (№. 2). – С. 87 - 93.

9. Ліберт Н. Є. Парк КПІ. Дендрологічний путівник територією КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2019. - 68 с.

10. Ліснічук А.М. Рослинність природних деревостанів *Pinus sylvestris* L. в заповідних зонах Кременецького горбогір'я //Промислова ботаніка. Сб. науч. тр. - Донецьк: Донецький ботанічний сад НАН України. - 2005.- С. 228 - 282.

11. Наказ МОЗ України від 05.04.2007 № 167 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0167282-07#Text (дата звернення 10.09.2020)

12. Перельман А.И. Геохимия ландшафтов / А.И. Перельман. М.: Вища школа, 1966.– 392 с.

13. Плугатар Ю.В., Швець Ю.П., Трофименко И.А., Дяговець А.А. Структура соснових насаджень Криму //Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2007. – №. 106. – С. 50-58.

14. Савченко Ю.Н., Григорюк И.А., Максин В.И., Гречаник Р.М. Активация ростовых процессов семян растений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) микроудобрением «Аватар-1» //Биоресурсы и природопользование. – 2015. – 7, № 3–4. – С. 16–21.

15. Самсонова Н. Е., Капустина М. В., Зайцева З. Ф. Влияние соединений кремния и минеральных удобрений на урожайность яровых зерновых культур и содержание в них антиоксидантных ферментов //Агрохимия. – 2013. – №. 10. – С. 66-74.

16. Скляренко В.М., Панкова М.О. Природа рідного краю (Дитяча енциклопедія) / [авт.-упоряд. В.М. Скляренко, М.О. Панкова]. Харків: Вид-во Основа., 2011. 319 с.

17. Сосна кримська // Державне підприємство «Краснопільське лісове господарство». URL: http://krasles.com.ua/product/sosna-krymska/ (дата звернення: 09.09.2020).

18. Фучило Я. Д., Середюк О. О. Ялина європейська у Правобережному Лісостепу України: перспективи використання та вдосконалення способів розмноження // Наукові праці Лісівничої академії наук України. – 2018. – №. 16. – С. 81 - 89.

19. Чопик В.І., Дудченко Л.Г., Краснова А.Н. Дикорослі корисні рослини України, Київ 1983р. - 400 с.

20. Шляхта І.М., Лисюк Р.М. // Квіти України. - 2016. - № 6. - С. 18 - 19.

21. Arbuzova E. N. et al. About of the etiology of pine wilt disease in Russia //Doklady Biological Sciences. – Springer Nature BV, 2014. – Т. 457. – №. 1. – P. 244.

22. Chanchal M.C.H., RitiThapar K., Deepak G. Alleviation of abiotic and biotic stresses in plants by silicon supplementation // Sci. Agricult. 2016. V. 13. № 2. P. 59 – 73.

23. Datnoff E.L., Tubana S.B. Why is silicon still not used routinely for managing plant health and enhancing plant growth under greenhouse and field conditions? // 7th Inter. Conf. Silicon Agricult. Proced. Abstracts. India, 2017. P. 150.

24. Debryniuk, Yu. M. (2003). Influence of mixing schemes on the growth and productivity of oak and fir in forest crops of the Western Forest-steppe. Scientific Bulletin of the Ukrainian State Forestry University, 13.4, P. 37 - 46.

25. Liang Y. et al. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review //Environmental pollution. – 2007. – Т. 147. – №. 2. – P. 422 - 428.

26. Matichenkov V. V., Bocharnikova E. A. Silicon soil state and biogeochemical balance in forest and grass ecosystems // Sustainable Development: the View from the Less Industrialized Coun- tries / Ed. Monge-Najera J. San Jose, Costa Rica: UNED, 1994. – P. 453 – 467.

ДОДАТКИ

Додаток А

Рис. 2.1 Насіння сосни кримської під дією розчинів нанокремнію (0,07%; 0,035%; 0,14%) на 15 добу експерименту

Додаток Б

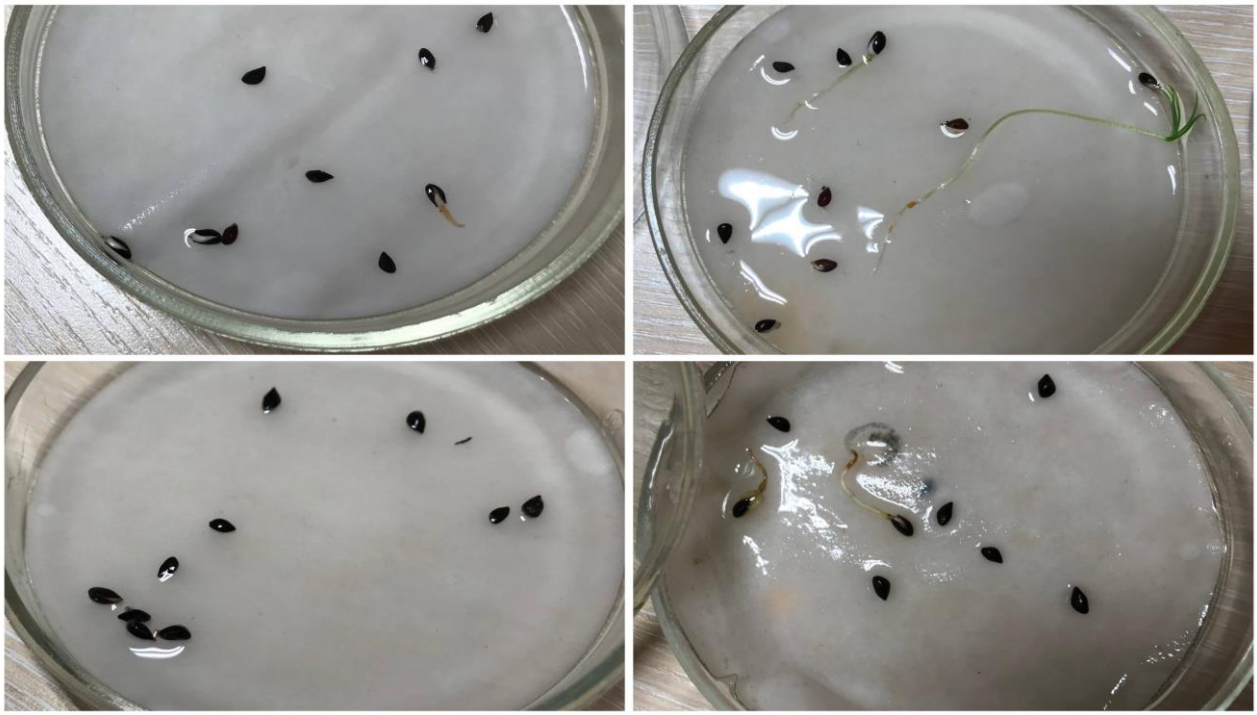


Рис. 2.2 Насіння ялини європейської під дією розчину нанокремнію (0,07%; 0,035%; 0,14%) на 15 добу експерименту

Додаток В

Рис. 2.3 Насіння гінкго дволопатевого під дією розчинів нанокремнію (0,07%; 0,035%; 0,14%) на 15 добу експерименту

Додаток Г

Рис. 2.4 Перевірка антибактеріальної активності нанокремнію

Додаток Д

Рис. 2.5 Обробка насіння у термостаті

Додаток Ж

Таблиця 2.1

Вплив різних концентрацій нанокремнію
на енергію проростання насіння сосни кримської

Концентрація препарату, %	Середня к-ть пророслого насіння, шт.				Енергія проростання насіння (5 доба), %	Енергія проростання насіння (7 доба), %	Абсолютна схожість насіння (15 доба), %
	Доба						
	5	7	10	15			
0,035	42±3,3	39±4,6	11±1,9	4±1,4	42	81	96
0,07	62±5,7	30±5	24±3,1	2,5±1,1	62	92	96,9
0,14	0	5±2,5	2±4,1	7±1,4	0	5	14
Контроль	31±4,7	40±3,7	19±2,7	5±3,8	31	71	95

Додаток З

Таблиця 2.2

Вплив різних концентрацій нанокремнію
на енергію проростання насіння ялини європейської

Концентрація препарату, %	Середня к-ть пророслого насіння, шт.				Енергія проростання насіння (5 доба), %	Енергія проростання насіння (7 доба), %	Абсолютна схожість насіння (15 доба), %
	Доба						
	5	7	10	15			
0,035	31,5± 0,7	11,6± 1,3	3,4± 1,7	2,3± 0,8	31,5	43,1	45
0,07	39,1± 1,7	18± 0,5	7,7± 0,9	1,3± 0,4	39,1	57,1	66,1
0,14	17± 2,6	6± 0,7	3± 1,7	2± 0,9	17	23	28
Контроль	21± 0,5	9,3± 1,4	4± 2,2	3± 0,9	21	30,3	37,3

Додаток І

Таблиця 2.3

Вплив різних концентрацій нанокремнію
на енергію проростання насіння гінкго дволопатевого (*Ginkgo biloba* L.)

Концентрація препарату, %	Середня к-ть пророслого насіння, шт.		Енергія проростання насіння (10 доба), %	Абсолютна схожість насіння (15 доба), %
	Доба			
	10	15		
0,035	38±2,6	13±1,7	38	51
0,07	77±0,9	21±2,1	77	98
0,14	79±1,6	19±2,3	79	98
Контроль	27±3,4	12±1,6	27	39