

ВЛИЯНИЕ СЕРЕБРЯНЫХ НАНОЧАСТИЦ РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ *SPIRAEA SALICIFOLIA L.*, КУЛЬТИВИРУЕМОЙ В УСЛОВИЯХ *IN VITRO***А.О. Фомина, М.А. Черныш***Белорусский государственный университет, Минск, foma.nastasya55@mail.ru*

Наночастицы серебра – это частицы серебра, которые имеют размеры в диапазоне от 1 до 100 нанометров. Они обладают уникальными свойствами и широко применяются в различных областях, включая медицину, электронику, катализ и антимикробные материалы. Из-за своего малого размера наночастицы серебра обладают большой поверхностной площадью по сравнению с объемом, что делает их очень реакционно активными и способными взаимодействовать с другими веществами [1]. Для практических целей зачастую более важны не сами размеры нанобъектов, а высокая степень их монодисперсности, так как в случае узкого распределения частиц по размеру можно добиться предсказуемых и воспроизводимых свойств. Синтез наноструктур серебра в растворе, как правило, состоит из трех основных компонентов: металлические предшественники, восстановители и стабилизаторы [2].

При исследовании действия наночастиц серебра на высшие растения в литературе приводятся противоречивые результаты: одними авторами показано негативное, другими утверждается стимулирующее, третьими зафиксировано отсутствие влияния вовсе.

Микроклональное размножение растений может быть использовано для тестирования различных веществ, включая наночастицы серебра. Одним из подходов может быть культивация тканей или клеток растения с определенными концентрациями наночастиц для оценки их влияния на рост, развитие и физиологические параметры растений. Это включает изучение эффектов наночастиц на физиологические процессы, морфологические изменения и наличие токсичности для растений.

Спирея иволистная (*Spiraea salicifolia*) – это небольшой, лиственный кустарник, имеющий гибкие побеги и ланцетовидные листья. Обильно цветет весной белыми или розовыми цветками, собранными в метелки или кисти. Благодаря своей декоративности и неприхотливости, а так же быстрому росту спирея иволистная является популярным растением в создании живых изгородей и массовых посадок [3].

Цель данной работы – изучение воздействия серебряных наночастиц различного происхождения на рост и развитие *in vitro* культуры *Spiraea salicifolia L.*

Синтез серебряных наночастиц (НЧ) осуществлялся по методике подробно изложенной в статье Пржевальской Д.А. Также в ней были представлены результаты микроскопического анализа наночастиц, полученные при помощи трансмиссионного электронного микроскопа. В связи с чем мы можем утверждать, что используемые в нашем исследовании наночастицы также имели сферическую форму диаметром 38 ± 3 нм ($n = 100$). В некоторых случаях они были представлены в виде агломератов [4].

В настоящей работе были протестированы наночастицы серебра, полученные при помощи химического и "зелёного" синтеза. Источником ионов серебра служила неорганическая соль AgNO_3 , основой выступала деионизованная вода Mili-Q. В качестве восстановителя при химическом синтезе использовались L-аскорбиновая кислота и при «зеленом» – экстракт ели. Для приготовления экстракта брали хвою ели, заливали $\text{H}_2\text{O}_{\text{дист}}$ и доводили до кипения. Затем охлаждали и отфильтровывали. В случае химического синтеза следующим этапом после смешивания навески с водой было введение стабилизатора, в качестве которого был выбран поливинилпирролидон (PVP). При «зеленом» синтезе после добавления навески AgNO_3 в воду никакого стабилизатора не вводилось в силу того, что экстракт хвои ели уже должен содержать их органические аналоги. Кислотность доводилась до 6 с помощью 10% КОН/НСl.

Во время перемешивания на магнитной мешалке аскорбиновая кислота или же экстракт хвои ели добавлялись по каплям Реакции образования наночастиц проходили при комнатной темпера-

туре в течение 5 минут. В ходе реакций окраска растворов изменялась от бесцветного до желтого или коричневого цвета, что указывает на образование наночастиц. [4].

На основе серебряных наночастиц, полученных путем «зеленого» и химического синтеза были приготовлены питательные среды МС и WPM (Duchefa, Netherlands), дополненные 9 г/л агар-агара и 30 г/л сахарозы. AgНЧ вносились в среды в следующих концентрациях: 0,1; 0,3; 1; 3; 10; 30; 100 и 300 мг/л. Далее питательные среды разливались по культуральным сосудам и автоклавировались при 121 °С и давлении 1,1 атм. в течение 20 минут, где под действием температуры закрепляется конечный оттенок синтезированных наночастиц.

Каждый вариант был выполнен в трехкратной повторности. На 30 сутки культивирования выполнялся анализ изменения длины и развития побегов и корневой системы. Измерение ростовых показателей производилось с использованием программы Image J. (рисунок).

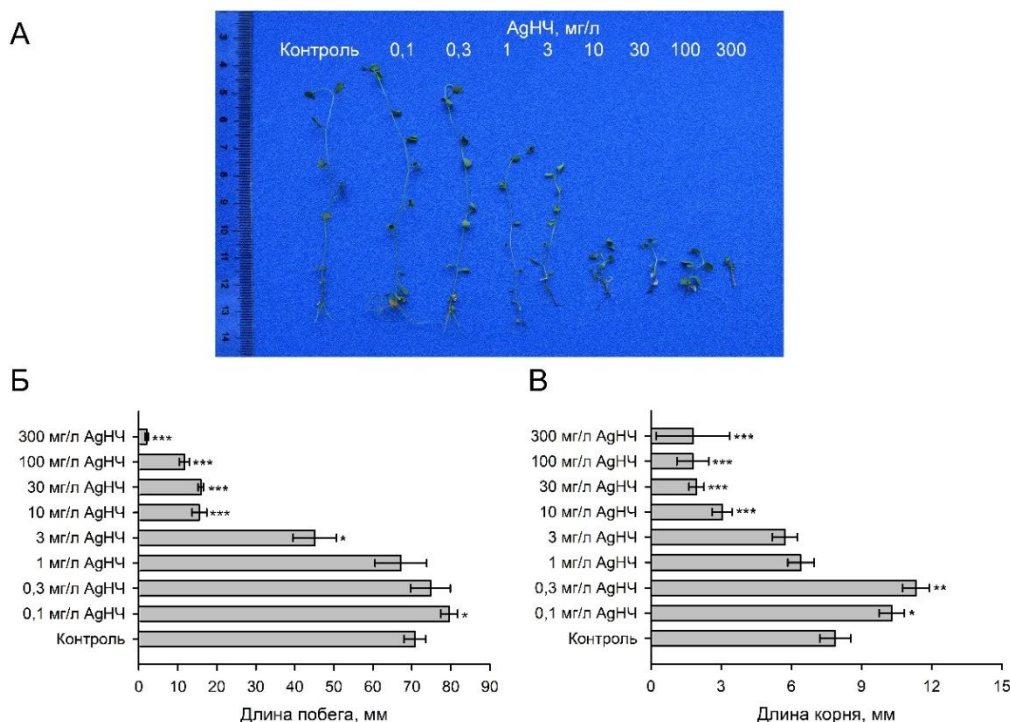


Рисунок – Влияние серебряных наночастиц, полученных при помощи "зеленого" синтеза на ростовые процессы микроклонов *Spiraea salicifolia*: А – внешний вид микроклонов; Б - длина побега; В - длина корня

Одним из направлений использования серебряных наночастиц, полученных с применением таких технологий является разработка новых регуляторов роста растений. Наши результаты и некоторые литературные данные указывают на ростостимулирующую активность серебряных наночастиц, введенных в среду выращивания в очень низких концентрациях.

В результате проведенного опыта на концентрациях 0,1 и 0,3 мг/л было выявлено стимулирующее действие наночастиц серебра в сравнении с контролем. При культивировании на среде содержащей концентрацию наночастиц 0,1 мг/л отмечена статистически достоверная стимуляция ростовых процессов, этот эффект был выявлен как на среде МС так и на WPM. Наночастицы оказывали незначительное влияние на корнеобразование. На самых высоких из протестированных концентраций (100 мг/ и 300 мг/) AgНЧ угнетали рост культуры.

В результате сравнения роста *Spiraea salicifolia* на разных средах была обнаружена закономерность. На ранних этапах роста микрочеренки, выращенные на среде WPM, характеризовались вытянутыми побегами, в то время как при выращивании на среде МС удлинения побегов не наблюдались. Однако это различие к 30 суткам практически исчезло и экспланты слабо отличались друг от друга.

Таким образом можно судить о стимулирующем эффекте наночастиц на малых концентрациях и ингибирующем на больших. Рассматривая свойства серебряных наночастиц можно предположить, что они могут являться эффективным средством для повышения уровня жизнеспособности и

укоренения черенков древесных растений, а также выступать в качестве биоцидного препарата против контаминирующих инфекций, повреждающих растения в условиях *in vitro*.

Список использованных источников

1. Xi-Feng Zhang Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Properties, Applications, and Therapeutic Approaches / Zhang Xi-Feng, Zhi-Guo Liu, Wei Shen // International journal of Molecular science. – 2016. – Т. 17. – №. 9. – С. 1534.
2. Tripathi R. M. Biogenic synthesis of silver nanoparticles using *Saraca indica* leaf extract and evaluation of their antibacterial activity / R. M. Tripathi [et al] // Nano Biomedicine and Engineering. – 2013. – Vol. 5, n. 1. – P. 50– 56.
3. Жадько С. В., Дайнеко Н. М. Ботаника. Класс двудольные: подклассы розиды, корниды, астеридаы, ламииды. – 2015.
4. Przhevalskaya D. A. et al. Effect of Silver Nanoparticles Synthesized by Green' Methods on the Growth of Culture of *L. whole Plants* //The Open Agriculture Journal. – 2022. – Т. 16. – №. 1.