

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА НА БИОМАССУ КОРНЕЙ *TARAXACUM KOK-SAGHYZ* В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO*

Мартиросян Левон Юрьевич, аспирант 4 курса ФГБУН Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук, E-mail: levon-argro@mail.ru

Мяжкова Евгения Романовна, магистрант 1 курса института агробиотехнологии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», E-mail: myagkovaevg@yandex.ru

Филатова София Игоревна, магистрант 1 курса института агробиотехнологии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», E-mail: sofa.fil7@yandex.ru

Аннотация: В работе приведены результаты исследований влияния наночастиц серебра на рост и накопление каучука и инулина в корнях кок-сагыза *in vitro*.

Ключевые слова: *Taraxacum kok-saghyz*, кок-сагыз, наночастицы, серебро, каучук, инулин

Введение. Натуральный каучук – стратегически важный и ценный биополимер, востребованный для изготовления более 50 000 видов резиновых изделий [1,5]. Несмотря на то, что процесс получения натурального каучука более дорогостоящий и трудоёмкий, современная промышленность не может полностью заменить его искусственным аналогом, что было подтверждено на заседании Европейской комиссии 13 сентября 2017 года [2]. Натуральный каучук обладает уникальными свойствами, такими как износостойкость, ударопрочность, эффективное рассеивание тепла, эластичность и устойчивость по отношению к изменениям температуры [1,5]. Основным коммерчески значимым источником натурального каучука в мире является гевея бразильская (*Hevea brasiliensis*). Однако важной проблемой выращивания данного каучуконоса является угроза массовой гибели плантаций из-за поражения различными грибами-аскомицетами. Наиболее опасным из них является фитопатогенный гриб *Microcyclus ulei*, вызывающий – южноамериканский фитофтороз (South American leaf blight, SALB). Эта болезнь уже привела к почти полному прекращению производства каучука на территории Южной Америки и представляет большую угрозу для плантаций Западной Африки и Юго-Восточной Азии [1,5]. Альтернативным источником натурального каучука, пригодным для промышленного выращивания на территории России, является одуванчик кок-сагыз (*Taraxacum kok-saghyz*) [1]. В корнях дикорастущих растений накапливается от 4 до 12% каучука и от 10 до 50 % ценного запасяющего углевода инулина [1,3]. В настоящее время активно ведутся работы по увеличению содержания целевых веществ в корнях кок-сагыза с

использованием современных био- и нанотехнологий. Использование наночастиц в качестве стимуляторов роста и индукторов вторичного метаболизма является перспективным методом повышения рентабельности сельскохозяйственных культур [4], в том числе и кок-сагыза.

Цель. Цель данной работы заключается в изучении влияния наночастиц серебра на рост биомассы корней кок-сагыза в культуре *in vitro* и накопления в них каучука и инулина.

Материалы и методы. В качестве питательной среды для выращивания выровненных растений кок-сагыза *in vitro* была использована среда Кворина-Лепуавра (QL), в которую после автоклавирования добавлялись наночастицы серебра Ag-20 и Ag-40 с размером 20 и 40 нм, соответственно, в различных концентрациях. Спустя 30 дней оценивали такие показатели, как длина наибольшего корня и масса всей корневой системы. Был также проведён анализ на содержание в корнях каучука и инулина. Реакцию растений на воздействие наночастиц и коллоидного раствора серебра оценивали по особенностям накопления активных форм кислорода (АФК). Кончики корней (4-5 мм) 30-дневных растений кок-сагыза отделяли и помещали в раствор флуоресцентного красителя carboxy-H₂ DCFDA (Химмед) на 30 минут с последующей трехкратной промывкой в дистиллированной воде. Затем корни помещали на предметное стекло в каплю воды и анализировали с помощью флуоресцентного микроскопа Olympus BX51 (Olympus corporation, Токио, Япония) с увеличением $\times 10$ при длине волны 490 нм. Изображения были получены с помощью цифровой камеры Color View II (Soft Imaging System, Мюнстер, Германия).

Результаты и их обсуждение. Результаты действия наночастиц серебра на параметры корневой системы растений кок-сагыза представлены в таблице 1.

Таблица 1-Влияние различных концентраций наночастиц серебра на параметры корневой системы *T. kok-saghyz*

Наночастицы	Концентрация, %	Длина наибольшего корня, см	Масса корней, мг
контроль	-	4,55±0,55	133±0,5
Ag-20	0,001	4,68±0,74	151±0,4
	0,002	4,83±0,39	156±0,4
	0,003	4,83±0,43	140±0,4
Ag-40	0,001	4,70±0,55	112±0,3
	0,002	4,83±0,63	0,7±0,2
	0,003	5,34±0,86	0,4±0,2

Исходя из результатов таблицы 1, можно сделать вывод, что внесение наночастиц серебра в питательную среду положительно сказывается на длине корней кок-сагыза. Максимальная длина корней наблюдалась при добавлении в среду частиц Ag-40 в концентрации 0,003%. Однако при изучении влияния наночастиц серебра на массу корней можно сделать вывод, что Ag-40 негативно сказывается на её росте. Наночастицы Ag-20 положительно влияют на прирост биомассы, наибольших результатов можно добиться, используя их в концентрации 0,002%. Результаты действия наночастиц серебра на содержание каучука и инулина в корнях кок-сагыза представлены в таблице 2.

Таблица 2 -Влияние различных концентраций наночастиц серебра на содержание каучука и инулина в корнях *T. kok-saghyz*

Наночастицы	Концентрация, %	Каучук, %	Инулин, %
контроль	-	3,4±0,6	6,6±0,4
Ag-20	0,001	4,6±0,3	17,3±0,6
	0,002	4,8±0,5	17,5±1,2
	0,003	4,8±0,7	18,3±0,4
Ag-40	0,001	5,4±0,7	19,5±0,9
	0,002	6,1±0,7	18,2±0,7
	0,003	6,4±1,1	18,1±0,1

Анализ показал благоприятное воздействие всех форм серебра на содержание каучука и в особенности инулина, во всех вариантах его количество превышало контроль более чем в 2 раза. Наибольшее содержание каучука наблюдалось при использовании частиц Ag-40 в концентрации 0,003%, наибольшее содержание инулина – в концентрации 0,001%.

Известно, что наночастицы способны вызывать у растений стресс, в результате которого образуются АФК. Исходя из результатов анализа можно сделать вывод, что наиболее интенсивное окрашивание АФК наблюдается в зоне корневого чехлика (рисунок 1).

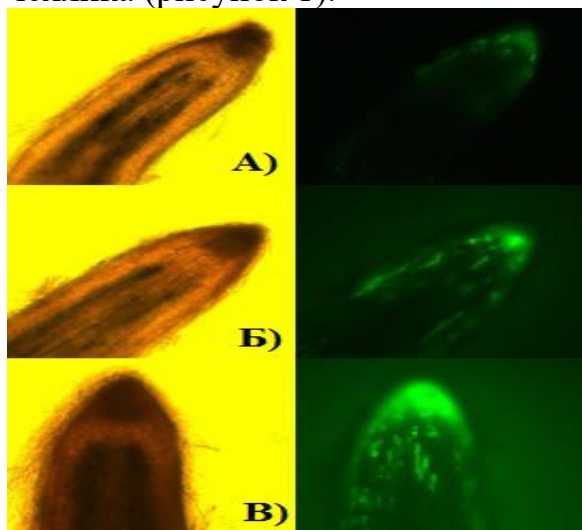


Рисунок 1. Влияние наночастиц серебра на содержание АФК в клетках корней кок-сагыза: А) контроль; Б) Ag-20; В) Ag-40

Также можно отметить, что использование наночастиц Ag-40 вызывает более активное накопление АФК в корнях кок-сагыза.

Заключение. Хотя о влиянии наночастиц на клетки растений и растительные организмы известно немного, и эти данные бывают противоречивы, по результатам работы можно сделать вывод о положительном влиянии наночастиц серебра на накопление целевых веществ в корнях кок-сагыза. Добавление в питательную среду наночастиц серебра Ag-40 в концентрации 0,003% приводило к увеличению содержания каучука до 6,4%, в концентрации 0,001% – к повышению содержания инулина до 19,5%.

При этом на рост биомассы корней благоприятнее влияет серебро с меньшим размером наночастиц – Ag-20 в концентрации 0,002% увеличивало массу корней до 156 мг.

Однако, нельзя отрицать того, что воздействие наночастиц на растения кок-сагыза вызывает у них окислительный стресс и в дальнейшем необходимо подробнее изучить их влияние на различных уровнях организации растительных организмов.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ, проект № 20-316-90032\20.

Библиографический список

1. Америк А. Ю. и др. *Parthenium argentatum* A. Gray, *Taraxacum kok-saghyz* L.E. Rodin и *Scorzonera tau-saghyz* Lipsch. et Bosse Альтернативные источники натурального каучука: нужны ли они нам? // *Сельскохозяйственная биология*. 2022. Т. 57. № 1. С. 3-26.
2. Борейко Н.П., Папков В.Н., Комаров Е.В. Предпосылки для разработки государственной программы создания искусственного аналога натурального каучука // *Каучук и резина*. 2019. Т. 78, №. 6. С. 380-383.
3. Arias M., Herrero J., Ricobaraza M. et al. Evaluation of root biomass, rubber and inulin contents in nine *Taraxacum koksaghyz* Rodin populations // *Industrial Crops and Products*. 2016. Vol. 83. P. 316-321.
4. Landa P. Positive effects of metallic nanoparticles on plants: Overview of involved mechanisms // *Plant Physiology and Biochemistry*. – 2021. – Т. 161. – С. 12-24.
5. Salehi M., Fakhimi A., Shahverdi H.R. et al. Natural rubber-producing sources, systems, and perspectives for breeding and biotechnology studies of *Taraxacum kok-saghyz* // *Industrial Crops and Products*. 2021. Vol. 170. P. 113-667.