

Научная статья
УДК 581.6
EDN: QWUIGH
DOI: 10.21285/achb.964



Гидропонное выращивание кок-сагыза и крым-сагыза на торфяном субстрате для получения натурального каучука

Б.Р. Кулуев*✉, А.Н. Петровичев**, Г.Т. Бари***

*Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Уфа, Российская Федерация

**ООО «Гала-студия», Москва, Российская Федерация

***Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Республика Казахстан

Аннотация. В настоящее время основным источником натурального каучука является гевея бразильская (*Hevea brasiliensis*). Актуальность поиска альтернативных источников натурального каучука связана с зависимостью его производства лишь от одного вида растения, изменениями климата и распространением грибковых заболеваний. Лучшей альтернативой гевее бразильской являются каучуконосные одуванчики *Taraxacum kok-saghyz* Rodin, *Taraxacum hybernum* Steven, *Taraxacum robedimovae* Schischk и некоторые другие. Ввиду большого числа проблем, возникающих при полевом возделывании каучуконосных одуванчиков, целью проведенной работы стали исследования по их гидропонному выращиванию. В испытанной нами технологии для выращивания каучуконосных одуванчиков были использованы стандартная гидропонная установка, твердый грунт в виде нейтрального торфа, 1/8 раствора Хогланда – Арнона, а также биопрепараты Фитоспорин-М (*Bacillus subtilis*) и Триходерма вериде (*Trichoderma viride*). Наибольшую сырую и сухую массу корней набирали гидропонные *Taraxacum kok-saghyz*, причем в 10 раз большую, чем при выращивании в почвенных условиях. Тем не менее наибольшее содержание каучука на сухую массу корней было обнаружено у гидропонных *Taraxacum robedimovae*. В целом наилучшие показатели продукции каучука на объем использованного торфа были характерны для гидропонных *Taraxacum kok-saghyz* и *Taraxacum robedimovae*, тогда как для почвенных одуванчиков этот показатель был на порядок ниже. Полноценные зрелые семена в условиях гидропоники дали только *Taraxacum robedimovae* и *Taraxacum hybernum*. С учетом накопления биомассы корней и каучука, а также семенной продуктивности наиболее предпочтительным для гидропонного выращивания является *Taraxacum robedimovae*.

Ключевые слова: *Taraxacum kok-saghyz*, *Taraxacum hybernum*, *Taraxacum robedimovae*, кок-сагыз, крым-сагыз, натуральный каучук, гидропоника

Финансирование. Исследование выполнено за счет средств ООО «Гала-студия» (г. Москва, Россия).

Для цитирования: Кулуев Б.Р., Петровичев А.Н., Бари Г.Т. Гидропонное выращивание кок-сагыза и крым-сагыза на торфяном субстрате для получения натурального каучука // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2025. Т. 15. N 1. С. 51–59. DOI: 10.21285/achb.964. EDN: QWUIGH.

Hydroponic cultivation of kok-saghyz and krim-saghyz on a peat substrate for natural rubber production

Bulat R. Kuluev*✉, Alexey N. Petrovichev**, Gabit T. Bari***

*Institute of Biochemistry and Genetics, Ufa Federal Research Center RAS, Ufa, Russian Federation

**OOO Gala-studio, Moscow, Russian Federation

***Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Republic of Kazakhstan

Abstract. Natural rubber is currently obtained primarily from *Hevea brasiliensis*. Due to the dependence of natural rubber production on only one plant species, climate changes, and the spread of fungal diseases, it is relevant to find alternative sources. The best alternatives to *Hevea brasiliensis* include rubber dandelions *Taraxacum kok-saghyz* Rodin, *Taraxacum hybernum* Steven, and *Taraxacum pobedimovae* Schischk, as well as several others. Due to the large number of problems arising in the cultivation of rubber-bearing dandelions in soil, this work was aimed at studying their hydroponic cultivation. The tested technology for growing rubber-bearing dandelions used a standard hydroponic system, hard soil (neutral peat), and 1/8 Hoagland-Arnon solution, as well as *Phytopsporin-M* (*Bacillus subtilis*) and *Trichoderma viride*. The highest wet and dry weights of roots were found in hydroponically grown *Taraxacum kok-saghyz*, which were ten times higher than those of plants cultivated in soil. The highest rubber content per dry weight of roots was found in hydroponically grown *Taraxacum pobedimovae*. The best rubber yield per the volume of used peat was observed in hydroponically grown *Taraxacum kok-saghyz* and *Taraxacum pobedimovae*; in the dandelions grown in soil, this parameter was found to be an order of magnitude lower. Only *Taraxacum pobedimovae* and *Taraxacum hybernum* produced fully mature seeds under hydroponic conditions. Taking the accumulation of root biomass and rubber into account, as well as seed production, *Taraxacum pobedimovae* is preferred for hydroponic cultivation.

Keywords: *Taraxacum kok-saghyz*, *Taraxacum hybernum*, *Taraxacum pobedimovae*, kok-saghyz, krim-saghyz, natural rubber, hydroponics

Funding. The OOO Gala-studio (Moscow, Russia) funded the study.

For citation: Kuluev B.R., Petrovichev A.N., Bari G.T. Hydroponic cultivation of kok-saghyz and krim-saghyz on a peat substrate for natural rubber production. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2025;15(1):51-59. (In Russian). DOI: 10.21285/achb.964. EDN: QWUIGH.

ВВЕДЕНИЕ

Натуральный каучук представляет собой полимер, состоящий из цис-1,4-полиизопрена, является очень важным сырьем, используемым для производства более 50000 изделий [1] и особо ценится в таких отраслях, как транспорт, медицина и оборона [2]. Количество и относительная доля натурального каучука в резиновых изделиях увеличились за последние 35 лет. Так, в 1981 г. на натуральный каучук приходилось 30% всего каучука (натурального и синтетического), используемого в мире, а к 2013 г. эта доля уже увеличилась до 42% [3]. Это связано с тем, что натуральный каучук из растений может превосходить каучук из нефти по некоторым параметрам: полимер натурального каучука имеет гораздо более высокую молекулярную массу по сравнению с синтетическим полиизопреновым каучуком, также устойчивое и возобновляемое производство растительного каучука считается более эффективным и экологичным, чем переработка невозобновляемой нефти [4, 5]. Натуральный каучук обладает превосходными эластичностью, липкостью, прочностью, термическими свойствами, сопротивлением истиранию и ударопрочностью по сравнению с синтетическим

каучуком, что объясняется его уникальной молекулярной структурой и высокой молекулярной массой (более 1 млн г/моль) [6]. Согласно многочисленным литературным данным, каучук способны синтезировать более 2500 видов двудольных растений [7]. Тем не менее источником высококачественного каучука с большой молекулярной массой были признаны лишь несколько видов растений, которые можно использовать в производственных масштабах. Наиболее известные из них это гевея бразильская (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg.), гваяла (*Parthenium argentatum* Grey) и одуванчик кок-сагыз (*Taraxacum kok-saghyz* Rodin [5, 8]). Малоизвестны произрастающие на Крымском полуострове одуванчик осенний (*Taraxacum hybernum* Steven) и претендующий на статус отдельного вида одуванчик Победимовой (*Taraxacum pobedimovae* Schischk.) [9], которые с 30-х гг. XX века были известны под названиями бурсемянная и розовосемянная формы крым-сагыза соответственно [10]. В связи с этим термин «крым-сагыз» по сути относится к этим двум предполагаемым видам одуванчиков и в дальнейшем под крым-сагызом будут подразумеваться оба близкородственных вида крымских одуванчиков.

На сегодняшний день лишь растение *H. brasiliensis*, культивируемое в основном в странах Азиатско-Тихоокеанского региона, является источником почти всего натурального каучука в мире [11]. Однако урожай гевейного каучука сильно зависит от природных условий и к проблемам изменения климата и опасного грибкового заболевания, вызываемого *Microcyclus ulei*, добавляется нестабильность цен. Исходя из понимания этих проблем, внедрение в производство альтернативных каучуковых культур, обеспечивающих географическое и генетическое разнообразие в мировых масштабах, будет позитивно влиять на торговлю каучуком, одновременно снижая волатильность цен и обеспечивая надежность поставок. На первое место в поисках альтернативных каучуконосов выходит *T. kok-saghyz*, который уже успешно выращивался в промышленных масштабах в XX веке. В XXI веке во многих странах снова начался сбор ресурсов зародышевой плазмы и стали проводиться фундаментальные исследования этого растения [12, 13]. Корни кок-сагыза и крым-сагыза, по разным данным, могут содержать от 3 до 28% натурального каучука в пересчете на сухую массу с очень похожими по макромолекулярной структуре и составу характеристиками, присущими для *H. brasiliensis* [8, 14–16]. Тем не менее кок-сагыз и крым-сагыз до сих пор не удается полноценно одомашнить и эти растения имеют несколько присущих им проблем, таких как потребность в постоянном увлажнении почвы во время прорастания и первого месяца роста, очень медленная скорость роста, низкая конкурентоспособность с сорняками, значительный выход каучука только в период созревания, а для кок-сагыза еще и высокая степень гетерозиготности и самонесовместимость [2, 5]. Минусами полевого возделывания также являются низкая всхожесть семян кок-сагыза и крым-сагыза, неравномерное созревание семян и их потеря, высокая подверженность воздействию вредителей, отсутствие специальной техники для посева, сбора семян и уборки корней, а также необходимость большого количества горюче-смазочных материалов. В этой связи может быть предложена гидро- и аэропонная технология выращивания каучуконосных видов одуванчика [17, 18]. Благодаря ее использованию могут быть решены проблемы с сорняками, вредителями, непредсказуемостью погодных условий и необходимостью наличия специальной техники для сбора урожая, к тому же корни будут чистыми и не будут требовать этапа мойки. Подобные технологии на сегодняшний день разработаны для кок-сагыза в США и Германии на основе гидропоники. Известен также способ аэропонного выращивания кок-сагыза [19]. Ранее нами проведены работы как по гидропонному [18], так и по аэропонному выращиванию каучуконосных одуванчиков [17]. Однако в этих условиях одуванчики росли довольно медленно и накапливали мало каучука. Можно предположить, что при использовании твердого грунта и полезной микрофлоры накопление каучука увеличится. В связи с этим целью данного исследования стало испытание комбинированной технологии выращивания каучуконосных одуванчиков, совмещающих гидропонику и почвенное выращивание. В испытанной нами технологии для выращивания каучуконосных одуванчиков был использован твердый грунт в виде

нейтрального торфа, раствор Хогланда – Арнона, а также биопрепараты Фитоспорин-М (*Bacillus subtilis*) и Триходерма вериде (*Trichoderma viride*).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе использованы семена *T. kok-saghyz* линии Saryjaz (с. Сарыжаз, Казахстан). Семена *T. hybernium* (буроземная форма крым-сагыза) и *T. pobedimovae* (розовоземная форма крым-сагыза) репродуцированы в г. Уфе из семян, собранных ранее на Крымском полуострове старшим научным сотрудником Карадагской научной станции кандидатом биологических наук А.В. Фатерыгой [10]. Семена козлобородника большого *Tragopogon major* Jacq. собраны в г. Уфе.

Семена каучуконосных одуванчиков и козлобородника вначале замачивали в чистой воде комнатной температуры в чашках Петри с фильтровальной бумагой и проводили их стратификацию в бытовом холодильнике при температуре от 3 до 5 °С в течение 1 недели. Дальнейшее выращивание растений проводили в четырехуровневой гидропонной установке МГУ-3-3/4 («Промгидропоника», Россия) с искусственным освещением (освещенность около 10000 люкс, белые светодиодные лампочки) в режиме 16 ч день / 8 ч ночь. Время выращивания растений от посева семян в грунт до сбора корней заняло 3 месяца. В качестве грунта использовали торф нейтральный Veltorf (Россия), который в ходе эксперимента ни разу не меняли и не обновляли. Семена после холодной стратификации переносили по 4 штуки на каждый гидропонный сосуд объемом 300 мл. В системе автополива в качестве минерального питания во все периоды вегетации использовали раствор 1/8 концентрации смеси Хогланда – Арнона: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (0,6 мМ), KNO_3 (0,6 мМ), KH_2PO_4 (0,1 мМ), $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,1 мМ), KCl (12 мкМ), H_3BO_3 (6 мкМ), $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (0,6 мкМ), $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,4 мкМ), $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (0,35 мкМ), $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (0,01 мкМ), $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0,02 мкМ), Fe-EDTA (10 мкМ), NaOH (25 мкМ). Настройки автополива были следующими: в первый месяц выращивания включение полива через каждые 6 ч (4 полива в сутки), во второй месяц – через каждые 8 ч (3 полива в сутки), в третий месяц – 1 полив в сутки. Каждый раз система автополива включалась на 5 мин. Расход питательной смеси составил около 60 л в месяц. В общем в ходе всего эксперимента для четырехуровневой гидропонной установки было использовано 180 л раствора 1/8 концентрации смеси Хогланда – Арнона, что эквивалентно 22,5 л однократного раствора Хогланда – Арнона. Для защиты растений от фитопатогенов и улучшения роста растений использовали коммерчески доступные препараты бактерий *Bacillus subtilis* (Фитоспорин-М универсальный, 10 г, «Башинком», Россия) и грибов *Trichoderma viride* (Триходерма вериде, 30 г, «Ваше хозяйство», Россия). Эти биопрепараты добавляли в бак гидропонной установки 3 раза за все время опыта (по 1 разу в месяц): в первый раз перед посевом семян в гидропонную систему – 10 г Фитоспорина-М (всю упаковку) и 15 г Триходермы вериде (половина упаковки); во второй и третий раз – по 5 г Фитоспорина-М (половину упаковки) и 7 г Триходермы вериде (четверть упаковки). Согласно нашим предварительным исследованиям, без использования этих биопрепаратов сеянцы могут погибнуть от грибковых заболеваний и растут гораздо медленнее,

набирая меньшую биомассу. В качестве контроля также выращивали кок-сагыз в почвенных условиях на универсальном грунте («Просто», Россия). Для этого использовали цветочные горшки объемом 900 мл. Условия освещения как для гидропоники, так и для почвы были идентичны, ручной верхний полив почвенных растений осуществляли от начала до конца вегетации по 3 раза в неделю, причем при одном из поливов каждую неделю использовали 1/8 раствора Хогланда – Арнона. Также трижды обрабатывали почвенные растения препаратами Фитоспорина-М и Триходермы вериде в той же концентрации, что и гидропонные растения.

Результаты анализов представляли в виде арифметических средних с планками погрешностей в виде стандартной ошибки. Статистическое различие данных проводили с использованием теста Дункана для двух (и более) независимых выборок [20].

Семена анализируемых растений всходили в течение первых 2 недель выращивания, и далее начинался интенсивный рост растений на гидропонике. Оба вида крым-сагыза в первый месяц уступали в росте кок-сагызу. К концу второй недели в каждом сосуде проводили прореживание и оставляли только по одному растению. Через 1,5 месяца наблюдали интенсивный рост листвы кок-сагыза, к тому же некоторые растения начинали цвести

(рис. 1, а). В то же время оба вида крым-сагыза к этому времени еще не цвели (рис. 1, б). Почвенные растения кок-сагыза сильно отставали в росте от гидропонных.

Цветение *T. hybernum* началось на втором месяце вегетации, и до конца эксперимента эти растения дали большое количество зрелых семян (рис. 1, d). С опозданием на 2 недели зацвели также розовосемянные формы крым-сагыза (*T. pobedimovae*). Кок-сагыз до конца вегетации цвел, однако зрелые семена не дал (рис. 1, c). До конца эксперимента *T. pobedimovae* дал гораздо меньше семян, чем *T. hybernum*. Семена обоих видов крым-сагыза, полученных на гидропонике, оказались зрелыми и показали высокую всхожесть. Таким образом, для получения зрелых семян в условиях гидропоники лучшие результаты были получены для *T. hybernum* (буросемянная форма крым-сагыза). Через 3 месяца выращивания визуально растения переставали расти, нижние листья начинали сохнуть (см. рис. 1, c, d), поэтому эксперимент останавливали и проводили сбор корней.

Наибольшая сырая масса корней была характерна для кок-сагыза и козлотородника (рис. 2, а). Оба вида крым-сагыза лишь немного уступали по данному параметру. Почвенные растения кок-сагыза набирали очень маленькую сырую массу – примерно в 10 раз меньше, чем гидропонные варианты (см. рис. 2, а). Далее корни



Рис. 1. Кок-сагыз через 1,5 месяца (а) и 3 месяца (с) после посева семян на грунт; крым-сагыз (в ближнем блоке – *Taraxacum pobedimovae*, в дальнем блоке – *Taraxacum hybernum*) через 1,5 месяца (б) и 3 месяца (д) после посева семян на грунт

Fig. 1. *Taraxacum kok-saghyz* 1.5 months (a) and 3 months (c) after seeds sowing on the ground; krym-saghyz (in the near block – *Taraxacum pobedimovae*, in the far block – *Taraxacum hybernum*) 1.5 months (b) and 3 months (d) after seeds sowing on the ground

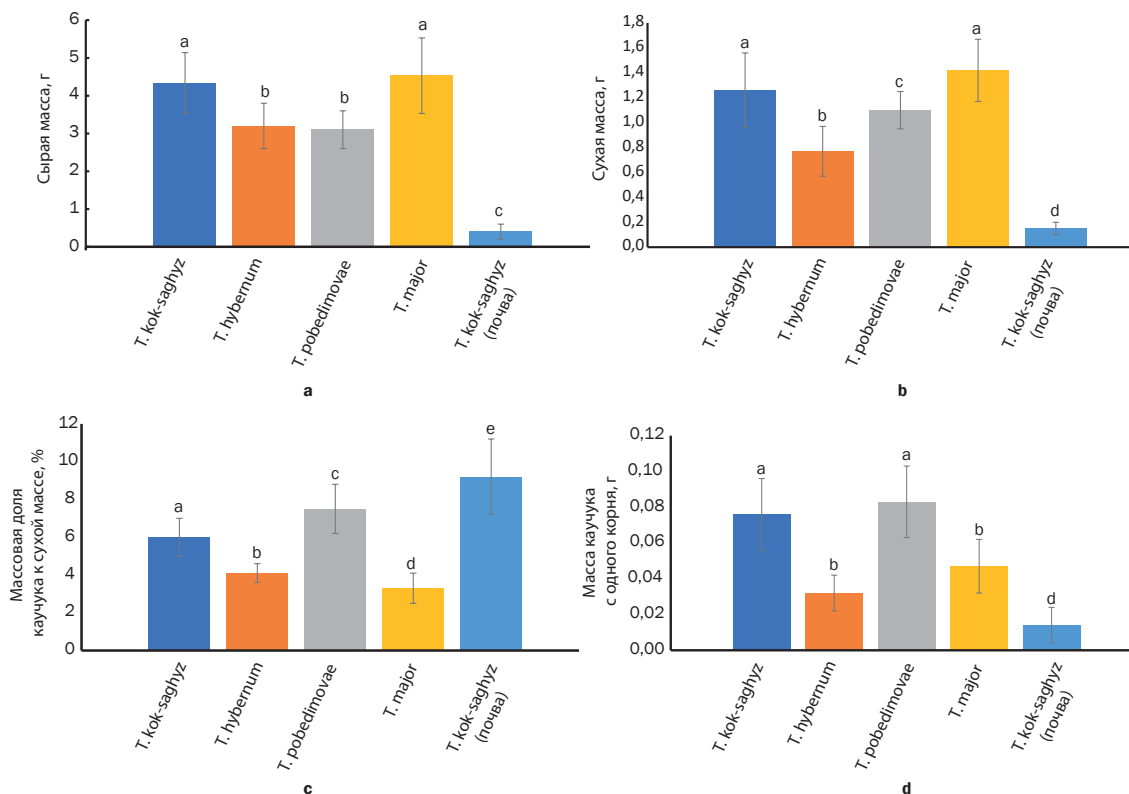


Рис. 2. Сырая масса корня (а), сухая масса корня (б), отношение массовой доли каучука к сухой массе корня (с), а также масса каучука, полученная с одного корня (д) (статистическое различие данных приведено по результатам теста Дункана)

Fig. 2. Fresh weight of the root (a), dry weight of the root (b), mass fraction of rubber to dry weight of the root (c), weight of rubber from one root (d) (statistical differences between data are based on the Duncan test)

одуванчиков высушивали при комнатной температуре в течение 10 дней для измерения сухой массы и перевода каучука в коагулированное состояние, что необходимо для исключения потерь каучука при процедуре его выделения [21]. По сухой массе были получены схожие данные. Самая большая сухая масса была характерна для козлобородника и кок-сагыза (рис. 2, b). Меньший объем сухой массы был обнаружен у *T. robedimovae*, еще меньшая сухая масса была характерна для *T. hybernium* (см. рис. 2, b). В почвенных условиях кок-сагыз набирал сухую массу в 8 раз меньше, чем в условиях гидропоники. Далее с использованием метода гексановой экстракции проводили выделение каучука [21]. Данная методика заключается в последовательном удалении из корней водо- и ацетонорастворимых компонентов и в заключительной экстракции каучука при помощи гексана. Далее выпаривали весь гексан путем нагрева до 50 °С и получали сухой гексановый экстракт, который состоит из натурального каучука. Наибольшее содержание каучука на сухую массу корней было характерно для почвенных растений кок-сагыза – в среднем 9,2%. Из гидропонных растений больше всего каучука накапливали *T. robedimovae* (рис. 2, c), причем по этому показателю они лишь в 1,2 раза уступали почвенным кок-сагызам. Наименьшее содержание каучука было характерно для козлобородника. Далее определялась средняя масса каучука, получаемая от одного корня. По этому показателю лидерами оказались *T. robedimovae* и *T. kok-saghyz* (рис. 2, d), которые примерно в 6 раз превышали почвенные растения кок-сагыза.

Большой интерес также представляет определение выхода каучука на объем использованного грунта. Этот показатель является важным при определении эффективности использованной площади гидропонного выращивания. По данному показателю лидером также оказались *T. kok-saghyz* и *T. robedimovae* (рис. 3).

Таким образом, наибольшая эффективность по занимаемому объему и площади при получении каучука была

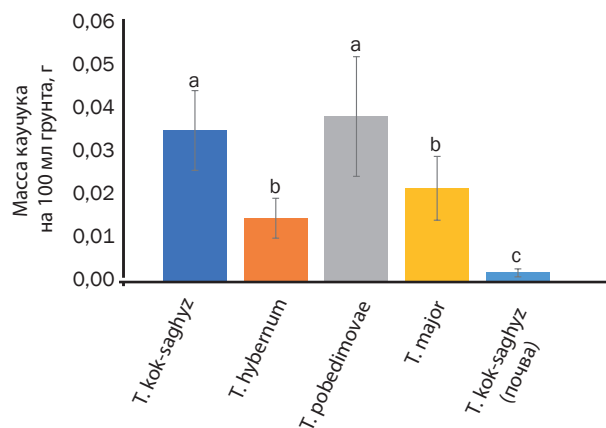


Рис. 3. Масса каучука, полученного на 100 мл использованного грунта (статистическое различие данных приведено по результатам теста Дункана)

Fig. 3. Mass of rubber obtained per 100 ml of soil used (statistical difference of data is given according to the results of the Duncan test)



Рис. 4. Просачивание латекса из разрезанных корней кок-сагыза, выросших в условиях гидропоники (а, b), растягивание каучука, выделенного из гидропонных растений *Taraxacum kok-saghyz* (с), шарик каучука диаметром около 2 см, выделенного из нескольких корней *Taraxacum kok-saghyz* (d)

Fig. 4. Seepage of latex from the cut roots of *Taraxacum kok-saghyz* grown in hydroponics (a, b), stretching of rubber isolated from hydroponic *Taraxacum kok-saghyz* (c), ball of rubber, about 2 cm in diameter, isolated from several roots of *Taraxacum kok-saghyz* (d)

характерна для *T. kok-saghyz* и *T. pobedimovae*, тогда как наименее эффективно был использован грунт при почвенном выращивании кок-сагыза (см. рис. 3). На рис. 4 представлены фотографии срезов корней (рис. 4, а, b), на которых виден стекающий латекс, представляющий собой каучукую эмульсию, а также фотографии самого каучука после процедуры выделения методом гексановой экстракции (рис. 4, с, d). Полученный в гидропонных условиях каучук по внешнему виду и эластичности не отличался от полученного в условиях почвы.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Технологии безсубстратного выращивания кок-сагыза разрабатываются в США [22], в России [23], в Казахстане [24] и в других странах. Известны способы аэропонного выращивания кок-сагыза [17, 23]. В указанных работах показано, что по скорости роста кок-сагыз, выращенный в гидропонике или аэропонике, часто превосходит почвенные варианты. Тем не менее в классической гидропонике и аэропонике у кок-сагыза часто не формируется единый главный корень [17], а именно в нем преимущественно накапливается каучук. Это может приводить к тому, что гидро- и аэропонные кок-сагызы будут продуцировать очень мало каучука, резко снижая рентабельность такого способа их выращивания. В связи с этим актуальным представляется использование гибридного подхода, совмещающего гидропонику и почвенное выращивание, более близкого к природной системе [24]. Также отмечается, что при использовании безсубстратных технологий, особенно при резке корней

для их сбора, есть риск заражения грибковыми и другими инфекционными заболеваниями [19]. Исходя из этого, применение нами в гидропонике фунгицидных биопрепаратов Фитоспорина-М и Триходермы вериде, очевидно, оказывало позитивный эффект как на иммунитет, так и на рост одуванчиков. В ходе проведенного исследования нами была испытана технология гидропонного выращивания каучуконосных одуванчиков с использованием нейтрального торфа в качестве субстрата, 1/8 раствора Хогланда – Арнона в качестве минерального питания с добавлением Фитоспорина-М и Триходермы вериде на стандартной гидропонной установке с автополивом и искусственным освещением. В нашей работе кроме кок-сагыза впервые в условиях гидропоники на твердом субстрате прошли испытание *T. hibernum* и *T. pobedimovae*. Эти два вида продемонстрировали высокую семенную продуктивность в условиях гидропоники без искусственного переопыления, что, очевидно, связано с тем, что эти одуванчики размножаются через апомиксис [13]. Кок-сагыз же, напротив, в условиях гидропоники не дал никаких семян. Вероятнее всего, это связано с тем, что кок-сагыз – перекрестно-опыляемое самонесовместимое растение [5], а искусственного переопыления мы не проводили.

В условиях гидропоники на твердом субстрате каучуконосные одуванчики набирали вегетативную массу гораздо быстрее, чем почвенные. Несмотря на то что визуально наибольшее увеличение проявлялось в росте листовой массы, гидропонные корни также в 10 раз превышали почвенные по значениям сырой и сухой массы. При этом

в гидропонике нами использованы сосуды объемом в 3 раза меньше, чем у почвенных растений. Очевидно, что это связано с лучшими условиями выращивания гидропонных растений по сравнению с почвенными. Вероятно, это обусловлено тем, что гидропонные растения обеспечивались питательным раствором на постоянной основе, тогда как почвенные растения получали минералы только 1 раз в неделю. Любопытно, что более благоприятные условия выращивания на гидропонике привели к меньшему накоплению каучука, чем в условиях почвы. Однако с учетом более быстрого и большего накопления массы корней гидропонные одуванчики в итоге накапливали гораздо больше каучука в расчете на 1 корень. Необходимо отметить, что даже по предварительным расчетам, которые мы здесь не приводим, нельзя говорить об экономической рентабельности предлагаемой нами технологии, так как каучук из геви на данный момент значительно дешевле каучука из одуванчиков при любом известном способе их выращивания. В этой связи остаются

актуальными дальнейшие исследования гидропонного, а также биопонного выращивания каучуконосных одуванчиков с целью поиска способов стимуляции биосинтеза и накопления каучука.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, созданная нами методика открывает перспективы для разработки технологий производства натурального каучука исключительно из отечественного сырья в условиях России вне зависимости от условий климата. Преимуществами гидропонной технологии на твердом субстрате является большая близость к природным условиям в отличие от классической гидропоники, что способствует большему накоплению каучука в корнях одуванчиков. Наибольшую перспективность для гидропонного выращивания представляет растение *T. pobedimovae* (одуванчик Победимовой), ранее известное как розовосемянная форма крым-сагыза.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Panara F., Fasano C., Lopez L., Porceddu A., Facella P., Fantini E., et al. Genome-wide identification and spatial expression analysis of histone modification gene families in the rubber dandelion *Taraxacum kok-saghyz* // *Plants*. 2022. Vol. 11, no. 16. P. 2077. DOI: 10.3390/plants11162077.
2. Cherian S., Ryu S.B., Cornish K. Natural rubber biosynthesis in plants, the rubber transferase complex, and metabolic engineering progress and prospects // *Plant Biotechnology Journal*. 2019. Vol. 17, no. 11. P. 2041–2061. DOI: 10.1111/pbi.13181.
3. Ramirez-Cadavid D., Cornish, K., Michel F.C. *Taraxacum kok-saghyz* (TK): compositional analysis of a feedstock for natural rubber and other bioproducts // *Industrial Crop Products*. 2017. Vol. 107. P. 624–640. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.05.043.
4. Van Beilen J.B., Poirier Y. Production of renewable polymers from crop plants // *Plant Journal*. 2008. Vol. 54, no. 4. P. 684–701. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2008.03431.x.
5. Nowicki M., Zhao Y., Boggess S.L., Fluess H., Payá-Milans M., Staton M.E., et al. *Taraxacum kok-saghyz* (rubber dandelion) genomic microsatellite loci reveal modest genetic diversity and cross-amplify broadly to related species // *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. P. 1915. DOI: 10.1038/s41598-019-38532-8.
6. Salehi M., Cornish K., Bahmanka M., Naghavi M.R. Natural rubber-producing sources, systems, and perspectives for breeding and biotechnology studies of *Taraxacum kok-saghyz* // *Industrial Crop Products*. 2021. Vol. 170. P. 113667. DOI: 10.1016/j.indcrop.2021.113667.
7. Cornish K., Kopicky S.L., McNulty S.K., Amstutz N., Chanon A.M., Walker S., et al. Temporal diversity of *Taraxacum kok-saghyz* plants reveals high rubber yield phenotypes // *Biodiversitas*. 2016. Vol. 17, no. 2. P. 847–856. DOI: 10.13057/biodiv/d170262.
8. Kuluev B., Uteulin K., Bari G., Baimukhametova E., Musin K., Chemeris A. Molecular genetic research and genetic engineering of *Taraxacum kok-saghyz* L.E. Rodin // *Plants*. 2023. Vol. 12, no. 8. P. 1621. DOI: 10.3390/plants12081621.
9. Fateryga V.V., Kuluev B.R., Svirin S.A., Fateryga A.V. Lectotypification and comments on the taxonomic status of *Taraxacum pobedimovae* Schischk. (Asteraceae: *Crepidinae*) // *Turczaninowia*. 2024. T. 27. N 1. C. 32–38. DOI: 10.14258/turczaninowia.27.1.4. EDN: DJKVDG.
10. Kuluev B., Fateryga A., Zakharova E., Zakharov V., Chemeris A. Pinkish-achened form of *Taraxacum hybernum* Steven – a source of inulin and high molar mass natural rubber // *Botany Letters*. 2023. Vol. 170, no. 2. P. 258–268. DOI: 10.1080/23818107.2022.2147998.
11. Ahrends A., Hollingsworth P.M., Ziegler A.D., Fox J.M., Chen H., Su Y., et al. Current trends of rubber plantation expansion may threaten biodiversity and livelihoods // *Global Environmental Change*. 2015. Vol. 34. P. 48–58. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2015.06.002.
12. Luo Z., Iaffaldano B.J., Zhuang X., Fresno-Ramirez J., Cornish K. Analysis of the first *Taraxacum kok-saghyz* transcriptome reveals potential rubber yield related SNPs // *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. P. 9939. DOI: 10.1038/s41598-017-09034-2.
13. Bari G., Gainullina K., Gumerova G., Uteulin K., Golovanov Ya., Chemeris A., et al. Multilocus DNA polymorphism of some rubber-bearing dandelions (*Taraxacum* spp.) of Russia and Kazakhstan // *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2022. Vol. 69. P. 335–348. DOI: 10.1007/s10722-021-01233-1.
14. Krotkov G. A review of literature on *Taraxacum koksaghyz* Rod. // *The Botanical Review*. 1945. Vol. 11. P. 417–461. DOI: 10.1007/BF02861139.
15. Van Beilen J.B., Poirier Y. Production of renewable polymers from crop plants // *The Plant Journal*. 2008. Vol. 54, no. 4. P. 684–701. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2008.03431.x.
16. Cornish K., Xie W., Kostyal D., Shintani D., Hamilton R.G. Immunological analysis of the alternate rubber crop *Taraxacum koksaghyz* indicates multiple proteins cross-reactive with *Hevea brasiliensis* latex allergens // *Journal of Biotechnology & Biomaterials*. 2015. Vol. 5. P. 207. DOI: 10.4172/2155-952X.1000207.
17. Кулуев Б.Р., Бережнева З.А., Чемерис А.В. Гидропонное и аэропонное выращивание одуванчика *Taraxacum kok-saghyz* Rodin // *Биомика*. 2017. Т. 9. N 2. С. 96–100. EDN: ZHKNYZ.
18. Кулуев Б.Р., Картуха А.И., Князев А.В., Фатерыга А.В., Чемерис А.В. Опыт выращивания *Taraxacum hybernum* (Asteraceae) // *Растительные ресурсы*. 2017. Т. 53. N 4. С. 543–554. EDN: ZRTLJD.
19. Патент № 2779988С1, Российская Федерация, А01G 22/25. Способ аэропонного выращивания каучуконосного

растения кок-сагыз *Taraxacum kok-saghyz* R / Л.Ю. Мартиросян, Ю.Ц. Мартиросян, С.Д. Варфоломеев, В.М. Гольдберг. Заявл: 01.02.2022; опублик.: 16.09.2022. Бюл. № 26.

20. Duncan D.B. Multiple range and multiple *F* tests // *Biometrics*. 1955. Vol. 11, no. 1. P. 1–42. DOI: 10.2307/3001478.

21. Кулуев Б.Р., Минченков Н.Д., Гумерова Г.Р. Кок-сагыз (*Taraxacum kok-saghyz* Rodin): методы выделения каучука и перспективы использования биотехнологических подходов // Биотехнология и селекция растений. 2019. Т. 2. N 2. С. 33–43. DOI: 10.30901/2658-6266-2019-2-33-43. EDN: FNLIMQ.

22. Cornish K., Kopicky S., Madden T. Hydroponic cultivation has high yield potential for TKS // *Rubber & Plastics News*. 2019. October 7. P. 23–25. Режим доступа: [https://cornishlab.cfaes.ohio-state.edu/sites/hcs-cornishlab/files/imce/Hydroponic%20cultivation%20has%20high%](https://cornishlab.cfaes.ohio-state.edu/sites/hcs-cornishlab/files/imce/Hydroponic%20cultivation%20has%20high%20yield%20potential%20for%20TKS.pdf)

20yield%20potential%20for%20TKS.pdf (дата обращения: 10.02.2025).

23. Мартиросян Л.Ю., Мартиросян Ю.Ц., Кособрюхов А.А., Гольдберг В.М., Гачок И.В., Мартиросян В.В. [и др.]. Биосинтез каучука и инулина в зависимости от спектрального состава света и активности фотосинтетического аппарата при аэропонном культивировании *Taraxacum kok-saghyz* E. Rodin // *Сельскохозяйственная биология*. 2023. Т. 58. N 1. С. 100–113. DOI: 10.15389/agrobiology.2023.1.100rus. EDN: GSWCBD.

24. Bari G.T., Zhanbyrbayev Ye.A., Jantassov S.K., Kuluev B.R. Organic hydroponics (bioponics) and aeroponics application for dandelion kok-saghyz cultivation // *Вестник Кызылординского университета имени Коркыт Ата*. 2022. N 3. С. 218–225. DOI: 10.52081/bkaku.2022.v62.i3.097. EDN: LHXUOP.

REFERENCES

1. Panara F., Fasano C., Lopez L., Porceddu A., Facella P., Fantini E., et al. Genome-wide identification and spatial expression analysis of histone modification gene families in the rubber dandelion *Taraxacum kok-saghyz*. *Plants*. 2022;11(16):2077. DOI: 10.3390/plants11162077.

2. Cherian S., Ryu S.B., Cornish K. Natural rubber biosynthesis in plants, the rubber transferase complex, and metabolic engineering progress and prospects. *Plant Biotechnology Journal*. 2019;17(11):2041-2061. DOI: 10.1111/pbi.13181.

3. Ramirez-Cadavid D., Cornish K., Michel F.C. *Taraxacum kok-saghyz* (TK): compositional analysis of a feedstock for natural rubber and other bioproducts. *Industrial Crop Products*. 2017;107:624-640. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.05.043.

4. Van Beilen J.B., Poirier Y. Production of renewable polymers from crop plants. *Plant Journal*. 2008;54(4):684-701. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2008.03431.x.

5. Nowicki M., Zhao Y., Boggess S.L., Fluess H., Payá-Milans M., Staton M.E., et al. *Taraxacum kok-saghyz* (rubber dandelion) genomic microsatellite loci reveal modest genetic diversity and cross-amplify broadly to related species. *Scientific Reports*. 2019;9:1915. DOI: 10.1038/s41598-019-38532-8.

6. Salehi M., Cornish K., Bahmanka M., Naghavi M.R. Natural rubber-producing sources, systems, and perspectives for breeding and biotechnology studies of *Taraxacum kok-saghyz*. *Industrial Crop Products*. 2021;170:113667. DOI: 10.1016/j.indcrop.2021.113667.

7. Cornish K., Kopicky S.L., McNulty S.K., Amstutz N., Chanon A.M., Walker S., et al. Temporal diversity of *Taraxacum kok-saghyz* plants reveals high rubber yield phenotypes. *Biodiversitas*. 2016;17(2):847-856. DOI: 10.13057/biodiv/d170262.

8. Kuluev B., Uteulin K., Bari G., Baimukhametova E., Musin K., Chemeris A. Molecular genetic research and genetic engineering of *Taraxacum kok-saghyz* L.E. Rodin. *Plants*. 2023;12(8):1621. DOI: 10.3390/plants12081621.

9. Fateryga V.V., Kuluev B.R., Svirin S.A., Fateryga A.V. Lectotypification and comments on the taxonomic status of *Taraxacum pobedimovae* Schischk. (Asteraceae: Crepidinae). *Turczaninowia*. 2024;27(1):32-38. DOI: 10.14258/turczaninowia.27.1.4. EDN: DJKVDG.

10. Kuluev B., Fateryga A., Zakharova E., Zakharov V., Chemeris A. Pinkish-achened form of *Taraxacum hybernum* Steven – a source of inulin and high molar mass natural rubber. *Botany Letters*. 2023;170(2):258-268. DOI: 10.1080/23818107.2022.2147998.

11. Ahrends A., Hollingsworth P.M., Ziegler A.D., Fox J.M.,

Chen H., Su Y., et al. Current trends of rubber plantation expansion may threaten biodiversity and livelihoods. *Global Environmental Change*. 2015;34:48-58. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2015.06.002.

12. Luo Z., Iaffaldano B.J., Zhuang X., Fresnedo-Ramirez J., Cornish K. Analysis of the first *Taraxacum kok-saghyz* transcriptome reveals potential rubber yield related SNPs. *Scientific Reports*. 2017;7:9939. DOI: 10.1038/s41598-017-09034-2.

13. Bari G., Gainullina K., Gumerova G., Uteulin K., Golovanov Ya., Chemeris A., et al. Multilocus DNA polymorphism of some rubber-bearing dandelions (*Taraxacum* spp.) of Russia and Kazakhstan. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2022;69:335-348. DOI: 10.1007/s10722-021-01233-1.

14. Krotkov G. A review of literature on *Taraxacum koksaghyz* Rod. *The Botanical Review*. 1945;11:417-461. DOI: 10.1007/BF02861139.

15. Van Beilen J.B., Poirier Y. Production of renewable polymers from crop plants. *The Plant Journal*. 2008;54(4):684-701. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2008.03431.x.

16. Cornish K., Xie W., Kostyal D., Shintani D., Hamilton R.G. Immunological analysis of the alternate rubber crop *Taraxacum koksaghyz* indicates multiple proteins cross-reactive with *Hevea brasiliensis* latex allergens. *Journal of Biotechnology & Biomaterials*. 2015;5:207. DOI: 10.4172/2155-952X.1000207.

17. Kuluev B.R., Berezhneva Z.A., Chemeris A.V. Hydroponic and aeroponic growing of Russian dandelion *Taraxacum kok-saghyz* Rodin. *Biomics*. 2017;9(2):96-100. (In Russian). EDN: ZHKNYZ.

18. Kuluev B.R., Kartuha A.I., Knyazev A.V., Fateryga A.F., Chemeris A.V. Growing experience of *Taraxacum hybernum* (Asteraceae). *Rastitelnye resursy*. 2017;53(4):543-554. (In Russian). EDN: ZRTLJD.

19. Martirosyan L.Yu., Martirosyan Yu.Ts., Varfolomeev S.D., Goldberg V.M. Method for aeroponic cultivation of rubber plant kok-saghyz *Taraxacum kok-saghyz* R. Patent RF, no. 2779988C1; 2022. (In Russian).

20. Duncan D.B. Multiple range and multiple *F* tests. *Biometrics*. 1955;11(1):1-42. DOI: 10.2307/3001478.

21. Kuluev B.R., Minchenkov N.D., Gumerova G.R. Russian dandelion (*Taraxacum kok-saghyz* Rodin): rubber extraction methods and prospects for biotechnological methods application. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2019;2(2):33-43. (In Russian). DOI: 10.30901/2658-6266-2019-2-33-43. EDN: FNLIMQ.

22. Cornish K., Kopicky S., Madden T. Hydroponic cultivation has high yield potential for TKS. *Rubber & Plastics News*. 2019;23-25. Available from: <https://cornishlab.cfaes.ohio-state.edu/sites/hcs-cornishlab/files/imce/Hydroponic%20cultivation%20has%20high%20yield%20potential%20for%20TKS.pdf> [Accessed 10th February 2025].

23. Martirosyan L.Yu., Martirosyan Yu.Ts., Kosobryukhov A.A., Goldberg V.M., Gachok I.V., Martirosyan V.V., et al. Biosynthesis of rubber and inulin depending on the spectral composition of light and activity of the pho-

tosynthetic apparatus during aeroponic cultivation of *Taraxacum kok-saghyz* E. Rodin. *Agricultural Biology*. 2023;58(1):100-113. (In Russian). DOI: 10.15389/agrobiology.2023.1.100rus. EDN: GSWCBD.

24. Bari G.T., Zhanbyrbayev Ye.A., Jantassov S.K., Kuluev B.R. Organic hydroponics (bioponics) and aeroponics application for dandelion kok-saghyz cultivation. *Bulletin of the Korkyt Ata Kyzylorda University*. 2022;3:218-225. DOI: 10.52081/bkaku.2022.v62.i3.097. EDN: LHXUOP.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кулуев Булат Разяпович,

д.б.н., заведующий лабораторией,
Институт биохимии и генетики – обособленное
структурное подразделение Уфимского
федерального исследовательского центра РАН,
450054, г. Уфа, Проспект Октября, 71,
Российская Федерация,
✉ kuluev@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1564-164X>

Петровичев Алексей Николаевич,

учредитель,
ООО «Гала-студия»,
115487, г. Москва, ул. Нагатинская, 28, к. 2,
Российская Федерация,
Mistera@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-7029-4563>

Бари Габит Толегенулы,

к.б.н., ведущий научный сотрудник,
Казахский национальный аграрный
исследовательский университет,
050000, г. Алматы, ул. Валиханова, 137,
Республика Казахстан,
baracuda.co@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1987-7315>

Вклад авторов

Б.Р. Кулуев – разработка методологии,
проведение исследования, написание
черновика рукописи, редактирование рукописи.
А.Н. Петровичев – разработка концепции,
получение финансирования.
Г.Т. Бари – разработка концепции,
валидация результатов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.*

Информация о статье

Поступила в редакцию 18.07.2024.
Одобрена после рецензирования 02.11.2024.
Принята к публикации 28.08.2025.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bulat R. Kuluev,

Dr. Sci. (Biology), Head of the Laboratory,
Institute of Biochemistry and Genetics,
Ufa Federal Research Center RAS,
71, Oktyabrya Ave., Ufa, 450054,
Russian Federation,
✉ kuluev@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1564-164X>

Alexey N. Petrovichev,

Founder,
ООО Gala-studio,
28/2, Nagatinskaya St., Moscow, 115487,
Russian Federation,
Mistera@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-7029-4563>

Gabit T. Bari,

Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher,
Kazakh National Agrarian Research University,
137, Valikhanov St., Almaty, 050000,
Kazakhstan,
baracuda.co@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1987-7315>

Contribution of the authors

Bulat R. Kuluev – methodology, investigation,
writing – original draft, writing – editing.
Alexey N. Petrovichev – conceptualization,
funding acquisition.
Gabit T. Bari – conceptualization, validation.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

*The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.*

Information about the article

The article was submitted 18.07.2024.
Approved after reviewing 02.11.2024.
Accepted for publication 28.08.2025.