

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1098

EDN: GFOGOW

УДК 631.52



Научная статья

ОЦЕНКА МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РОДА *GLEDITSIA* В УСЛОВИЯХ АРИДНОГО КЛИМАТА

Е.В. Калмыкова, П.А. Кузьмин, П.А. Крылов, К.А. Мельник

Аннотация

Обоснование. Представители рода *Gleditsia* являются ценными деревьями в условиях аридного климата, так как данный род обладает высокой степенью засухоустойчивости и толерантен к условиям солонцеватых почв.

Целью данной работы является сравнительный анализ морфогенетических параметров семян с разным природным ареалом, интродуцированных в аридных условиях: гледичия техасская (*G. texana*), гледичия трехколючковая (*G. triacanthos*), гледичия трехколючковая форма бесколючковая (*G. triacanthos*, f. *inermis*), гледичия каспийская (*G. caspica*).

Материалы и методы. Объект исследования: семена некоторых видов рода *Gleditsia*: *G. texana*, *G. triacanthos*, *G. caspica*, которые произрастают на территории ФНЦ агроэкологии РАН. Исследование проводилось с 2022 по 2024 годы. Генеративная продуктивность изучалась посредством сбора семян, оценки их морфологических показателей и жизнеспособности. Выделение ДНК осуществляли СТАВ-методом из листовой пластинки с последующей оценкой концентрации и качества на длинах волн A260/A280 с помощью спектрофотометра SpectrostarNano (BMG Labtech, Германия).

Результаты. Выявлено, что у *G. triacanthos* доброкачественность семян за период исследования на более высоком уровне (96,82 %), чем у *Gleditsia caspica*, где данные значения в пределах 66,24 %. Высокая всхожесть зафиксирована у семян *G. triacanthos* (до 92 %). У всех видов быстрее всего развивается зародышевый корешок.

Заключение. Результаты генотипирования позволили определить как общие UBC 873, UBC 890, так и вариативные UBC 826, локусы характерные для представителей всего родового комплекса *Gleditsia*. Также был выявлен более высокий полиморфизм *G. triacanthos* по маркеру UBC 826 по сравнению

с другими представителями рода *Gleditsia*, что согласуется с более лучшими морфологическими признаками и устойчивостью к засухе.

Ключевые слова: всхожесть; генеративная продуктивность; засухоустойчивость; ISSR-анализ; родовой комплекс *Gleditsia*; аридные территории

Для цитирования. Калмыкова Е.В., Кузьмин П.А., Крылов П.А., Мельник К.А. Оценка морфогенетических параметров рода *Gleditsia* в условиях аридного климата // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 228-246. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1098

Original article

ASSESSMENT OF MORPHOGENETIC PARAMETERS OF THE GENUS *GLEDITSIA* IN ARID CLIMATE

E.V. Kalmykova, P.A. Kuzmin, P.A. Krylov, K.A. Melnik

Abstract

Background. Representatives of the genus *Gleditsia* are valuable trees in arid climates, as this genus has a high degree of drought resistance and is tolerant to saline soil conditions.

The **purpose** of this work is a comparative analysis of the morphogenetic parameters of seedlings with different natural ranges introduced in arid conditions: *gledichia texana* (*G. texana*), *gledichia tricolor* (*G. triacanthos*), *gledichia tricolor* (*G. triacanthos*, *f. inermis*), *gledichia Caspian* (*G. caspica*).

Materials and methods. Object of study: seedlings of some species of the genus *Gleditsia*: *G. texana*, *G. triacanthos*, *G. caspica*, which grow on the territory of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences. The study was conducted from 2022 to 2024. Generative productivity was studied by collecting seeds and assessing their morphological characteristics and viability. DNA was isolated using the CTAB method from the leaf blade, followed by assessment of concentration and quality at wavelengths A260/A280 using a SpectrostarNano spectrophotometer (BMG Labtech, Germany).

Results. It was revealed that in *G. triacanthos*, the seed quality during the study period was at a higher level (96.82%) than in *Gleditsia caspica*, where these values are within 66,24 %. High germination was recorded in *G. triacanthos* seeds (up to 92%). In all species, the germinal root develops the fastest.

Conclusion. The results of genotyping allowed us to identify both common UBC 873, UBC 890, and variable UBC 826, loci characteristic of representatives of

the entire *Gleditsia* generic complex. A higher polymorphism of *G. triacanthos* according to the UBC 826 marker was also revealed compared to other representatives of the genus *Gleditsia*, which is consistent with better morphological characteristics and drought resistance.

Keywords: germination; generative productivity; drought resistance; ISSR analysis; *Gleditsia* generic complex; arid territories

For citation. Kalmykova E.V., Kuzmin P.A., Krylov P.A., Melnik K.A. Assessment of Morphogenetic Parameters of the Genus *Gleditsia* in Arid Climate. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 228-246. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1098

Введение

Аридный климат характеризуется незначительной численностью древесных растений. Начало развития науки лесоразведения в засушливой зоне относится к 19 веку. Озеленительные посадки деревьев и кустарников внедряют с 1930 г. В сухих степях и полупустыни значительно позже начали эффективно создавать лесные древесные насаждения различного назначения, в том числе и интродуцированными растениями [8; 12]. Обогащение древесными растениями природной флоры позволяет существенно расширить декоративно-планировочные и санитарно-гигиенические функции в условиях аридного климата. Проблема сохранения биоразнообразия является актуальным вопросом в мировом сообществе [6; 26]. Экосистемы, состоящие из сообщества взаимосвязанных живых организмов с доминированием в нем древесной растительности, характеризуются высоким уровнем биологического разнообразия, это происходит благодаря большому количеству лесообразующих пород, возрастному и пространственному строению древостоев, также различным условиям произрастания [4; 9; 10; 13].

Биоэкологический и экономический потенциал для биоразнообразия аридных территорий представляет род гледичия (*Gleditsia* L.). Североамериканские виды рода *Gleditsia* имеют ценные декоративные и лесомелиоративные качества [23]. *Gleditsia* является теплолюбивой породой [5; 19]. Род *Gleditsia* широко распространен на юге Украины, в Ставропольском крае и Ростовской области, на Кавказе, в республиках Средней Азии, где широко используется для агролесомелиорации.

Для создания дендрологической коллекции родового комплекса *Gleditsia* важным аспектом является проведение генотипирования видов и форм, а также их гибридов, интродуцированных на аридной территории.

Существует широкое разнообразие неспецифических и специфических молекулярно-генетических маркеров, таких как: ISSR [7; 11; 12; 16]. В связи с тем, что в настоящий момент только начали появляться сырые данные сиквенсов генома представителей рода *Gleditsia*, и имеется недостаток данных, было проведено генотипирование с использованием ISSR-маркеров [2; 3; 15; 17; 21].

Цель исследования – сравнительный анализ морфогенетических параметров семян с разным природным ареалом, интродуцированных в аридных условиях: гледичия техасская (*G. texana*), гледичия трехколючковая (*G. triacanthos*), гледичия трехколючковая форма бесколючковая (*G. triacanthos*, f. *inermis*), гледичия каспийская (*G. caspica*).

Материалы и методы исследования

Объект исследования: семена некоторых видов рода *Gleditsia*: *G. texana*, *G. triacanthos*, *G. caspica*, которые произрастают на территории ФНЦ агроэкологии РАН.

Гледичия каспийская – *G. caspica* Desf. Дерево может достигать 15 м высоты. Первичные семена получены из Ереванского ботанического сада в 1973 году.

Гледичия обыкновенная (трехколючковая) – *G. triacanthos* L. Дерево до 45 м высоты. Экземпляры этого вида впервые получили в качестве семян в 1972 году из г. Петрозаводска.

Гледичия техасская *G. texana* Sarg. (гибрид *G. triacanthos* L. х *G. aquatica* Marsh.). Дерево достигает 20 м в высоту. Исходным материалом этого вида были семена, полученные из Ташкентского ботанического сада в 1973 году.

Исследование проводилось с 2022 по 2024 годы. Генеративная продуктивность изучалась посредством сбора семян, оценки их морфологических показателей и жизнеспособности. Собранные семена рода *Gleditsia* перед прорастиванием были подвергнуты скарификации, путем погружения в концентрированную серную кислоту на 120 минут с последующей промывкой в воде в течение суток для разрушения покрова семян [1; 11; 14]. Качество семян определяли по ГОСТ Р 51173-98, а стандарты посадочного материала – по ГОСТ 26869-86, ГОСТ 3317-90.

Оценка морфологических параметров онтогенеза на ранних стадиях проводилась путем измерения высоты растений (см) и длины листьев (см).

Для оценки развития семян на начальных этапах онтогенеза разных видов рода *Gleditsia* были созданы равные условия. Набухшие семена рода

Gleditsia были помещены в почвенный грунт, световой день длился 16 часов, а темная фаза фотосинтеза протекала 8 часов при постоянной температуре 26°C.

Выделение ДНК осуществляли СТАВ-методом из листовой пластинки [18; 20] с последующей оценкой концентрации и качества на длинах волн A260/A280 с помощью спектрофотометра SpectrostarNano (BMG Labtech, Германия).

Для выявления ISSR были использованы праймеры, синтезированные ЗАО Evrogen, Россия (таблица 1).

Таблица 1.

Наименование и последовательность ISSR праймеров

Наименование	Последовательность '5–3'	Tm, °C
UBC811	GAGAGAGAGAGAGAGAC	54.2
UBC826	ACACACACACACACC	54.7
UBC835	AGAGAGAGAGAGAGAGYC	54.0
UBC841	GAGAGAGAGAGAGAGAYC	54.0
UBC873	GACAGACAGACAGACA	50.0
UBC890	VHVGTTGTGTGTGTGTGT	50.0

ISSR-ПЦР проводили на амплификаторе Applied Biosystems QuantStudio 5 (Thermo Fisher Scientific, США) с использованием коммерческого набора qPCRmix-HS (cat: #PK145L, Евrogen, Россия), согласно инструкциями производителя при использовании стандартной программы, проводимой ранее с данными ISSR-праймерами [25].

Электрофорез продуктов ПЦР проводился в 2% агарозном геле. Размер полос ДНК на геле рассчитывали с использованием ДНК-маркера длиной более 100 п.н. (cat: #NL002, Евrogen, Россия). Для окрашивания агарозного геля использовали бромид этидия (Хеликон, Россия). Визуализацию результатов электрофореза проводили с использованием гель-документирующей системы iBright CL750 Imaging Systems (Thermo Fisher Scientific, США) [24; 26].

Математическая обработка данных

Измерения осуществляли для всех листьев каждого вида, все параметры обрабатывались в программе статистика [22]. Стандартная ошибка вычислялась с помощью программы Excel. Данные были собраны в двоичную матрицу 0/1. Расчет характеристик генетической структуры производился с помощью специализированной программы POPGENE версии 1.31.

Результаты исследования

Образцы семян являются типичными для рода *Gleditsia*. У *Gleditsia triacanthos* за два года зафиксировано максимальное количество семян в одном плоде (25 штук), чем у остальных исследуемых видов. Среднее количество семян данного вида варьирует до 18 штук за 2022 и 2023 год, среднее минимальное количество семян было отмечено в 2022 году – 13 шт.

Выявлено, что максимальная масса 100 штук семян за 2023 год у *Gleditsia triacanthos* – 23,5 г, а максимальный выход чистых семян – 37% от массы плодов. Минимальная масса семян была зафиксирована у *Gleditsia texana* (100 штук – 16,09 г.) Также стоит отметить, что в 2022 и 2023 гг. внутривидовые параметры изучаемых видов имели несущественное различие (таблица 2).

Таблица 2.

Характеристика плодоношения различных видов и форм *Gleditsia* (2022–2023 гг.)

Показатели	<i>G. triacanthos</i>	
	2022	2023
Длина плода, см	$\frac{28,2^*}{14^{**}/34,6^{***}}$	$\frac{30,25^*}{22^{**}/37,5^{***}}$
Ширина плода, см	$\frac{2,3^*}{1,8^{**}/3,2^{***}}$	$\frac{2,77^*}{2,0^{**}/3,2^{***}}$
Масса 1 плода, г	$\frac{9,27^*}{6,51^{**}/18,05^{***}}$	$\frac{12,5^*}{5,03^{**}/18,6^{***}}$
Количество семян, шт	$\frac{13^*}{4^{**}/25^{***}}$	$\frac{18^*}{12^{**}/25^{***}}$
Длина семян, см	$\frac{0,85^*}{0,7^{**}/1,1^{***}}$	$\frac{0,9^*}{1,0^{**}/1,1^{***}}$
Ширина семян, см	$\frac{0,6^*}{0,5^{**}/0,8^{***}}$	$\frac{0,52^*}{0,5^{**}/0,6^{***}}$
Масса 100,г	$\frac{12,67^*}{11,0^{**}/15,23^{***}}$	$\frac{19,56^*}{14,5^{**}/23,5^{***}}$
Выход семян, %	$\frac{19,8^*}{9,0^{**}/35,0^{***}}$	$\frac{25,0^*}{15,7^{**}/36,8^{***}}$
Показатели	<i>G. caspica</i>	
	2022	2023
Длина плода, см	$\frac{27,0^*}{23,4^{**}/32,2^{***}}$	$\frac{26,76^*}{20^{**}/35^{***}}$
Ширина плода, см	$\frac{2,79^*}{2,0^{**}/3,2^{***}}$	$\frac{2,89^*}{2,5^{**}/3,3^{***}}$
Масса 1 плода, г	$\frac{10,7^*}{8,08^{**}/14,08^{***}}$	$\frac{8,8^*}{5,15^{**}/18,75^{***}}$
Количество семян, шт	$\frac{20,8^*}{14^{**}/24^{***}}$	$\frac{20^*}{12^{**}/23^{***}}$

Длина семян, см	$\frac{0,97^*}{0,9^{**}/1,0^{***}}$	$\frac{1,04^*}{0,9^{**}/1,2^{***}}$
Ширина семян, см	$\frac{0,62^*}{0,6^{**}/0,7^{***}}$	$\frac{0,64^*}{0,5^{**}/0,8^{***}}$
Масса 100,г	$\frac{24,6^*}{28,0^{**}/34,0^{***}}$	$\frac{18,5^*}{15,5^{**}/21,7^{***}}$
Выход семян, %	$\frac{34,6^*}{27,0^{**}/44,0^{***}}$	$\frac{26,5^*}{16,5^{**}/42,7^{***}}$
Показатели	<i>G. texana</i>	
	2022	2023
Длина плода, см	$\frac{22,04^*}{17,6^{**}/25,5^{***}}$	$\frac{22,2^*}{19^{**}/27^{***}}$
Ширина плода, см	$\frac{2,5^*}{2,3^{**}/2,9^{***}}$	$\frac{2,71^*}{2,3^{**}/3,0^{***}}$
Масса 1 плода, г	$\frac{6,07^*}{3,62^{**}/7,8^{***}}$	$\frac{6,97^*}{5,15^{**}/8,76^{***}}$
Количество семян, шт	$\frac{8^*}{3^{**}/11^{***}}$	$\frac{14^*}{7^{**}/25^{***}}$
Длина семян, см	$\frac{0,89^*}{0,7^{**}/1,1^{***}}$	$\frac{0,7^*}{0,6^{**}/1,0^{***}}$
Ширина семян, см	$\frac{0,65^*}{0,5^{**}/0,9^{***}}$	$\frac{0,54^*}{0,4^{**}/0,7^{***}}$
Масса 100,г	$\frac{9,6^*}{9,32^{**}/9,93^{***}}$	$\frac{13,9^*}{11,04^{**}/16,09^{***}}$
Выход семян, %	$\frac{21,3^*}{13,5^{**}/21,9^{***}}$	$\frac{19,1^*}{28,9^{**}/37,6^{***}}$

, * – минимальные и максимальные значения показателей,

* – среднее значение признака,

Доброкачественность семян *G. triacanthos* имеет высокие показатели - 96,82 %, по сравнению с семенами *G. caspica* (66,24 %) за период исследования в условиях аридного климата (таблица 3).

Таблица 3.

**Сравнительная оценка плодоношения и доброкачественность семян
исследуемых видов рода *Gleditsia***

Вид	Плодоношение, балл	Доброкачественность семян, %
<i>Gleditsia triacanthos</i>	$4,7 \pm 0,11$	$96,82 \pm 3,12$
<i>Gleditsia triacanthos</i> ., f. <i>inermis</i>	$4,2 \pm 0,14$	$76,71 \pm 3,73$
<i>Gleditsia texana</i>	$2,4 \pm 0,18$	$86,81 \pm 3,84$
<i>Gleditsia caspica</i>	$3,9 \pm 0,17$	$66,24 \pm 4,09$

Для получения сеянцев проращивали семена 2023 года, так как сохранность семян у всех видов имела наибольший процент, чем в другие года.

Всхожесть семян *G. triacanthos* доходила до 92 %. *G. texana* дала всхожесть ниже на 20 % (таблица 4).

На третьи сутки после посева семена всех видов начинают прорастать, появляются всходы. Быстрее всего развивается зародышевый корешок. Фаза открытие семядолей длится около двух суток. Появление первых настоящих листочков отмечается через неделю. Все исследуемые виды рода *Gleditsia* успешно прошли стадии развития проростков (рисунок 1).

Таблица 4.

Всхожесть семян *Gleditsia* в лабораторных условиях

Вид	Дата появления сходов		Всхожесть, %
	единичных	массовых	
<i>G. caspica</i>	16/ III	19/ III	65
<i>G. texana</i>	17/ III	18/ III	78
<i>G. triacanthos</i>	17/ III	18/ III	92
<i>G. triacanthos</i> , f. <i>inermis</i>	18/ III	21/ III	75

Рис. 1. Стадии развития проростков *Gleditsia* в течение 7 суток

У сеянцев *G. triacanthos* сложные первые листья достигают размеров до 4 см с 9-11 парами парноперистных листочков в 15-дневном возрасте, до полного развития семядолей. Максимальный рост у сеянцев *G. caspica* составлял 10 см в 15-дневном возрасте, это на 2-4 см меньше, чем у североамериканских видов (таблица 5).

Для выявления межвидового генетического разнообразия рода *Gleditsia* было использовано 6 ISSR-праймеров с высокой степенью амплифицируемости, определённой по предыдущим исследованиям.

В результате были получены генетические спектры для *G. triacanthos*, *G. triacanthos* f. *inermis*, *G. caspica* и *G. texana* (рисунки 2, 3).

Проведенные исследования выявили отсутствие уникальных ISSR-локусов между *G. triacanthos* и *G. triacanthos* f. *inermis* (рисунки 2А, 2Б).

Таблица 5.

**Морфологические параметры различных видов сеянцев *Gleditsia*
в 15-дневном возрасте**

Вид	Длина листьев (см)			Кол-во листьев (пар, шт)			Рост (см)		
	min	ср	max	min	ср	max	min	ср	max
<i>G. caspica</i>	2 ±0,18	3 ±0,27	3,5 ±0,31	5 ±0,11	7 ±0,12	9 ±0,13	3 ±0,12	8 ±0,10	10 ±0,14
<i>G. texana</i>	2 ±0,18	3 ±0,27	4 ±0,36	9 ±0,11	10 ±0,12	11 ±0,14	7 ±0,12	11 ±0,08	14 ±0,09
<i>G. triacanthos</i>	1,5 ±0,13	3,5 ±0,31	4 ±0,36	9 ±0,11	10 ±0,12	11 ±0,14	9 ±0,12	12 ±0,08	14 ±0,09
<i>G. triacanthos</i> , f. <i>inermis</i>	1,5 ±0,13	2 ±0,18	3 ±0,27	9 ±0,11	9 ±0,11	10 ±0,14	6 ±0,12	9 ±0,13	13 ±0,08

Это позволяет говорить о том, что использование данных ISSR-маркеров не способствует выявлению генетической обусловленности (детерминированность) бесколючковой формы *G. triacanthos*.

Использование данных праймеров также не позволило выявить отличий между *G. triacanthos* и *G. caspica* и *G. texana*. Оставшиеся 4 праймера не дают возможности определить уникальные локусы, связанные с видовыми и форменными особенностями у рода *Gleditsia*.

В ходе исследования ISSR у *G. triacanthos* и *G. texana* был обнаружен уникальный локус при использовании UBC 826 (350, 400 п.н.), который свидетельствует об их родстве (рисунок 2). У *G. caspica* ISSR-локус (400 п.н.) отсутствует.

UBC 835 и 841 показали низкую информативность при оценке генетической структуры *G. triacanthos*, *G. triacanthos inermis*, *G. caspica* и *G. texana*.

Для определения степени родства исследуемых видов рода *Gleditsia* была построена дендрограмма на основе матрицы генетических различий (рисунок 4).

Полученная дендрограмма демонстрирует наибольшую генетическую отдаленность *G. triacanthos* от другой формы, вида и гибрида. Максимальное родство имеют *G. caspica* и *G. texana* (дистанция по Нейю 0,0685). Примечательным является то, что *G. triacanthos* имеет низкую степень сродства с *G. triacanthos* f. *inermis* и *G. texana*. Таким образом, полученные результаты показали, что выбранные шесть ISSR не позволяют с высокой вероятностью определить уникальные локусы для форм.

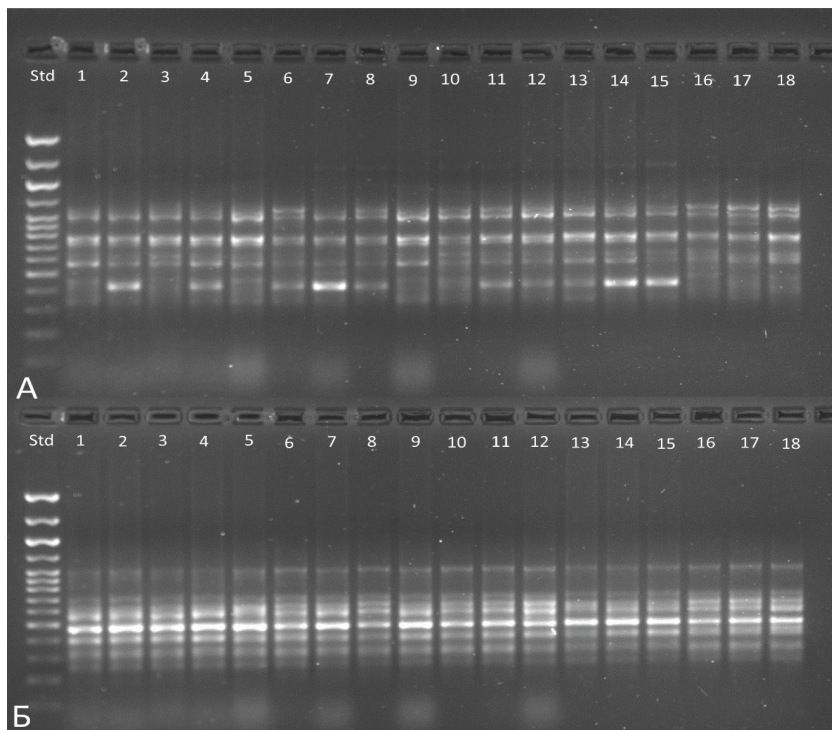


Рис. 2. Пример электрофореграммы продуктов амплификации с ISSR-праймерами: А – UBC 873, 1-9 – *G. triacanthos*, 10-18 – *G. triacanthos inermis*; Б – UBC 890, 1-9 – *G. triacanthos*, 10-18 – *G. triacanthos inermis*. Std маркер молекулярного веса (100-3000 п.н.)

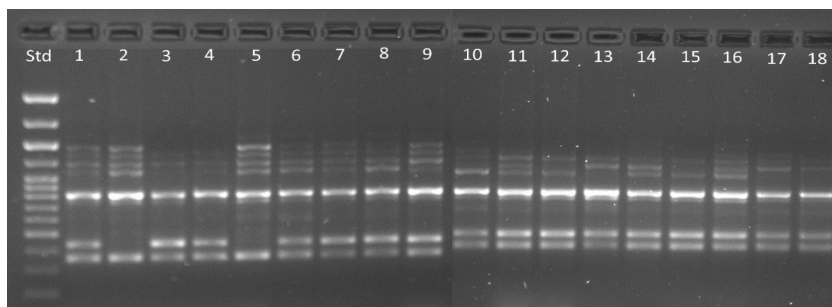


Рис. 3. Пример электрофореграммы продуктов амплификации с UBC 826, 1-9 – *G. triacanthos*, 10-18 – *G. texana*. Std маркер молекулярного веса (100-3000 п.н.)



Рис. 4. Дендрограмма генетических различий представителей рода *Gleditsia*

Заключение

Семена *G. triacanthos* и *G. texana* имеют высокую доброкачественность и всхожесть в аридных условиях, так как североамериканские виды менее подвержены засухе. У семян *G. caspica* показатель доброкачественности имел низкий параметр из-за стресс факторов (высокая температура, дефицита воды). Исследуемые сеянцы видов рода *Gleditsia* во время эксперимента динамично развивались и проходили все стадии развития, поэтому родовой комплекс имеет большой потенциал для агролесомелиорации.

Результаты генотипирования позволили определить как общие, так и вариативные локусы характерные для представителей всего родового комплекса *Gleditsia*. Однако, для получения более точных данных необходимо проведение дополнительных исследований по подбору и тестированию других ISSR-маркеров. Также был выявлен более высокий полиморфизм *G. triacanthos* по маркеру UBC 826 по сравнению с другими представителями рода *Gleditsia* что согласуется с более лучшими морфологическими признаками.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00273, «Создание биоресурсной коллекции видов растений для борьбы с деградацией аридных регионов России», <https://rscf.ru/project/23-26-00273/>

Список литературы

1. Балакина А.А., Нефедьева Е.Е., Ларикова Ю.С. Исследование структуры и состава семенной клетки *Gleditsia* и некоторых изменений в ее структуре при набухании // Аграрный вестник Урала. 2021. Т. 206, №03. С. 46-52. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-206-03-46-52>
2. Беляев А.И., Крылов П.А., Пугачева А.М., Деревщикова Л.В. Анализ наличия геномов древесных и кустарниковых растений, используемых в

- агролесомелиорации южных регионов России // Труды Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование. 2023. №2(70). С. 30-42.
3. Кузьмин П.А. Изучение полиморфизма ISSR-маркеров *Caragana arborescens* Lam / П.А. Кузьмин, И.М. Романова, Е.Д. Великанова // Таврический вестник аграрной науки. 2024. № 1(37). С. 77-86. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10926169>
 4. Manaenkov A.S., Rybashlykova L.P. Increasing the Efficiency of Plant-Cover Restoration in the Modern Focus of Deflation on Pastures of the Northwestern Caspian Region // *Arid Ecosyst.* 2020. Vol. 10. P. 358–367. <https://doi.org/10.1134/S2079096120040149>
 5. Мельник К.А., Хужахметова А.Ш. Особенности плодоношения интродуцированных представителей родового комплекса *Gleditsia* возрастном аспекте // Труды Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. №4(68). С. 184-193.
 6. Семенютина А.В., Хужахметова А.Ш., Долгих А.А., Сапронов В.В. Научные основы обогащения дендрофлоры малолесных регионов хозяйственно ценными растениями // *Всемирный экологический журнал.* 2021. Т. 12, №2. С. 35-51. <https://doi.org/10.25726/v1064-3614-5462-o>
 7. Abd-Dada H., Bouda S., Khachtib Y., Bella Y.A., Haddioui A. Use of ISSR markers to assess the genetic diversity of an endemic plant of Morocco (*Euphorbia resinifera* O. Berg) // *Journal, genetic engineering & biotechnology.* 2023. Vol. 21(1), 91. <https://doi.org/10.1186/s43141-023-00543-4>
 8. Andablo-Reyes A. D. C., Moreno-Calles A. I., Cancio-Coyac B. A., Gutiérrez-Coatecatl E., Rivero-Romero A. D., Hernández-Cendejas G., Casas A. Agri-silvicultures of Mexican Arid America // *Journal of ethnobiology and ethnomedicine.* 2023. Vol. 19, № 1. P. 39. <https://doi.org/10.1186/s13002-023-00612-5>
 9. Belyaev A.I., Semenyutina A.V., Khuzhakhmetova A.Sh., Semenyutina V.A. Analysis of Bioresource Collections on Climatic Rhythms and Phenological Processes // *Ecological Engineering and Environmental Technology.* 2022. Vol. 23(3). P. 87-94. <https://doi.org/10.12912/27197050/147152>
 10. Cappellini F., Marinelli A., Toccaceli M., Tonelli C., Petroni K. Anthocyanins: From Mechanisms of Regulation in Plants to Health Benefits in Foods // *Front. Plant Sci.* 2021. Vol. 12, 748049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.748049>
 11. Carta A., Mattana E., Dickie J., Vandeloof F. Correlated evolution of seed mass and genome size varies among life forms in flowering plants // *Seed Science Research.* 2022. Vol. 32(1). <https://doi.org/10.1017/S0960258522000071>

12. Kader A., Sinha S.N., Ghosh P. Clonal fidelity investigation of micropropagated hardened plants of jackfruit tree (*Artocarpus heterophyllus* L.) with RAPD markers // Journal, genetic engineering & biotechnology. 2022. Vol. 20. № 1. P. 145. <https://doi.org/10.1186/s43141-022-00426-0>
13. Kulik K.N., Belyaev A.I., Pugacheva A.M. The role of protective afforestation in combating drought and desertification of agricultural landscapes // Arid Ecosystems. 2023. Vol. 1(94). P. 4-14. <https://doi.org/10.1134/S2079096123010079>
14. Lorca A., Ferreras A., Funes G. Seed size and seedling ontogenetic stage as modulators of damage tolerance after simulated herbivory in a woody exotic species // Australian Journal of Botany. 2019. Vol. 67(2). P. 159-164. <https://doi.org/10.1071/BT18093>
15. Louati M., Ucarli C., Arikan B., Ghada B., Hannachi A. S., Turgut-Kara, N. Genetic, Morphological, and Biochemical Diversity of Argan Tree (*Argania spinosa* L.) (Sapotaceae) in Tunisia // Plants (Basel, Switzerland). 2019. Vol. 8(9), 319. <https://doi.org/10.3390/plants8090319>
16. Luo C., Chen D., Cheng X., Liu H., Li Y., Huang C. SSR analysis of genetic relationship and classification in chrysanthemum germplasm collection // Horticultural Plant Journal. 2018. Vol. 4(2). P. 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2018.01.003>
17. Middleton E. Effect of plant flavonoids on immune and inflammatory cell function // Advances in experimental medicine and biology. 2009. Vol. 439. P. 175–182. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5335-9_13
18. Møller M., Kjes U., Budde K. B., Gailing O. Applying molecular and genetic methods to trees and their fungal communities // Applied microbiology and biotechnology. 2023. Vol. 107. № 9. P. 2783–2830. <https://doi.org/10.1007/s00253-023-12480-w>
19. Nourmohammadi K., Kartoolinejad D., Naghdi R., Baskin C.C. Effects of dormancy-breaking methods on germination of the water impermeable seeds of *Gleditsia caspica* (Fabaceae) and seedling growth // Folia Oecologica. 2019. Vol. 46(2). P. 115-126. <https://doi.org/10.2478/foecol-2019-0014>
20. Novikova A.A., Sheikina O.V., Novikov P.S., Doronina G.U. Estimation of the ISSR-markers application for systematization and genetic certification of Genus *Rhododendron* // Scientific Journal of KubSAU. 2012. №82. P. 79-89. <https://sm1.kubsau.ru/authors/2338>
21. Ramzan F., Kim H.T., Younis A., Ramzan Y., Lim K.B. Genetic assessment of the effects of self-fertilization in a *Lilium* L. hybrids using molecular cytogenetic methods (FISH and ISSR) // Saudi journal of biological sciences. 2021. Vol. 28(3). P. 1770–1778. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.019>

22. Redwan O. Germination of the seeds of *Gleditsia triacanthos* L. and the effect of some agricultural communities on the growth and development of their seedlings // *Biological Sciences Series*. 2019. Vol. 41(6). P. 11-26.
23. Sergio J., Yohana G., Romina D. Structure of the forests of *Gleditsia triacanthos* as a function of age (Valle de La Sala, Tucum n, Argentina) // *Austral Ecology*. 2020. Vol. 30. P. 251-259. <https://doi.org/10.25260/EA.20.30.2.0.1083>
24. Shestibratov K.A., Baranov O.Y., Mescherova E.N., Kiryanov P.S., Pantelev S.V., Mozharovskaya L.V., Krutovsky K.V., Padutov V.E. Structure and phylogeny of the curly birch chloroplast genome // *Frontiers in genetics*. 2021. № 12. P. 625764. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.625764>
25. Simpson M. Evolution and Diversity of Woody and Seed Plants // *Plant Systematics*. 2019. P. 131-165. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812628-8.50005-5>
26. Tyshchenko A., Tyshchenko O., Konovalova V., Fundirat K., Piliarska O. Methods of determining the drought resistance of plants // *InterConf*. 2023. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.05.2023.030>

References

1. Balakina A.A., Nefedieva E.E., Larikova Y.S. Study of the structure and composition of the seed cell of *Gleditsia* and some changes in its structure during swelling. *Agrarny Vestnik Urala*, 2021, vol. 206, no. 03, pp. 46-52. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-206-03-46-52>
2. Belyaev A.I., Krylov P.A., Pugacheva A.M., Derevshchikova L.V. Analysis of the availability of genomes of woody and shrubby plants used in agroforestry in the southern regions of Russia. *Proceedings of the Nizhnevolzhskiy agro-university complex: science and higher education*, 2023, no. 2(70), pp. 30-42.
3. Kuzmin P.A. Study of polymorphism of ISSR-markers of *Caragana arborescens* Lam / P.A. Kuzmin, I.M. Romanova, E.D. Velikanova. *Tavricheskiy vestnik agrarnoi nauki*, 2024, no. 1(37), pp. 77-86. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10926169>
4. Manaenkov A.S., Rybashlykova L.P. Increasing the Efficiency of Plant-Cover Restoration in the Modern Focus of Deflation on Pastures of the North-western Caspian Region. *Arid Ecosyst.*, 2020, vol. 10, pp. 358–367. <https://doi.org/10.1134/S2079096120040149>
5. Melnik K.A., Khuzhakhmetova A.Sh. Features of fructification of introduced representatives of the genus complex *Gleditsia* age aspect. *Proceedings of the Nizhnevolzhskiy agro-university complex: science and higher professional education*, 2022, no. 4(68), pp. 184-193.
6. Semenyutina A.V., Khuzhakhmetova A.Sh., Dolgikh A.A., Saponov V.V. Scientific bases of enrichment of dendroflora of low forested regions with econom-

- ically valuable plants. *World Ecological Journal*, 2021, vol. 12, no. 2, pp. 35-51. <https://doi.org/10.25726/v1064-3614-5462-o>
7. Abd-Dada H., Bouda S., Khachtib Y., Bella Y.A., Haddioui A. Use of ISSR markers to assess the genetic diversity of an endemic plant of Morocco (*Euphorbia resinifera* O. Berg). *Journal, genetic engineering & biotechnology*, 2023, vol. 21(1), 91. <https://doi.org/10.1186/s43141-023-00543-4>
 8. Andablo-Reyes A. D. C., Moreno-Calles A. I., Cancio-Coyac B. A., Gutiérrez-Coatecatl E., Rivero-Romero A. D., Hernández-Cendejas G., Casas A. Agri-silvicultures of Mexican Arid America. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*, 2023, vol. 19, no. 1, p. 39. <https://doi.org/10.1186/s13002-023-00612-5>
 9. Belyaev A.I., Semenyutina A.V., Khuzhakhmetova A.Sh., Semenyutina V.A. Analysis of Bioresource Collections on Climatic Rhythms and Phenological Processes. *Ecological Engineering and Environmental Technology*, 2022, vol. 23(3), pp. 87-94. <https://doi.org/10.12912/27197050/147152>
 10. Cappellini F., Marinelli A., Toccaceli M., Tonelli C., Petroni K. Anthocyanins: From Mechanisms of Regulation in Plants to Health Benefits in Foods. *Front. Plant Sci.*, 2021, vol. 12, 748049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.748049>
 11. Carta A., Mattana E., Dickie J., Vandeloos F. Correlated evolution of seed mass and genome size varies among life forms in flowering plants. *Seed Science Research*, 2022, vol. 32(1). <https://doi.org/10.1017/S0960258522000071>
 12. Kader A., Sinha S.N., Ghosh P. Clonal fidelity investigation of micropropagated hardened plants of jackfruit tree (*Artocarpus heterophyllus* L.) with RAPD markers. *Journal, genetic engineering & biotechnology*, 2022, vol. 20, no. 1, p. 145. <https://doi.org/10.1186/s43141-022-00426-0>
 13. Kulik K.N., Belyaev A.I., Pugacheva A.M. The role of protective afforestation in combating drought and desertification of agricultural landscapes. *Arid Ecosystems*, 2023, vol. 1(94), pp. 4-14. <https://doi.org/10.1134/S2079096123010079>
 14. Lorca A., Ferreras A., Funes G. Seed size and seedling ontogenetic stage as modulators of damage tolerance after simulated herbivory in a woody exotic species. *Australian Journal of Botany*, 2019, vol. 67(2), pp. 159-164. <https://doi.org/10.1071/BT18093>
 15. Louati M., Ucarli C., Arikani B., Ghada B., Hannachi A. S., Turgut-Kara, N. Genetic, Morphological, and Biochemical Diversity of Argan Tree (*Argania spinosa* L.) (Sapotaceae) in Tunisia. *Plants (Basel, Switzerland)*, 2019, vol. 8(9), 319. <https://doi.org/10.3390/plants8090319>
 16. Luo C., Chen D., Cheng X., Liu H., Li Y., Huang C. SSR analysis of genetic relationship and classification in chrysanthemum germplasm collection. *Horticultural Plant Journal*, 2018, vol. 4(2), pp. 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2018.01.003>

17. Middleton E. Effect of plant flavonoids on immune and inflammatory cell function. *Advances in experimental medicine and biology*, 2009, vol. 439, pp. 175–182. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5335-9_13
18. Мӱллер М., Кӱес У., Budde K. B., Gailing O. Applying molecular and genetic methods to trees and their fungal communities. *Applied microbiology and biotechnology*, 2023, vol. 107, no. 9, pp. 2783–2830. <https://doi.org/10.1007/s00253-023-12480-w>
19. Nourmohammadi K., Kartoolinejad D., Naghdi R., Baskin C.C. Effects of dormancy-breaking methods on germination of the water impermeable seeds of *Gleditsia caspica* (Fabaceae) and seedling growth. *Folia Oecologica*, 2019, vol. 46(2), pp. 115-126. <https://doi.org/10.2478/foecol-2019-0014>
20. Novikova A.A., Sheikina O.V., Novikov P.S., Doronina G.U. Estimation of the ISSR-markers application for systematization and genetic certification of Genus *Rhododendron*. *Scientific Journal of KubSAU*, 2012, no. 82, pp. 79-89. <https://sm1.kubsau.ru/authors/2338>
21. Ramzan F., Kim H.T., Younis A., Ramzan Y., Lim K.B. Genetic assessment of the effects of self-fertilization in a *Lilium* L. hybrids using molecular cytogenetic methods (FISH and ISSR). *Saudi journal of biological sciences*, 2021, vol. 28(3), pp. 1770–1778. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.019>
22. Redwan O. Germination of the seeds of *Gleditsia triacanthos* L. and the effect of some agricultural communities on the growth and development of their seedlings. *Biological Sciences Series*, 2019, vol. 41(6), pp. 11-26.
23. Sergio J., Yohana G., Romina D. Structure of the forests of *Gleditsia triacanthos* as a function of age (Valle de La Sala, Tucumӱn, Argentina). *Austral Ecology*, 2020, vol. 30, pp. 251-259. <https://doi.org/10.25260/EA.20.30.2.0.1083>
24. Shestibratov K.A., Baranov O.Y., Mescherova E.N., Kiryanov P.S., Pantelev S.V., Mozharovskaya L.V., Krutovsky K.V., Padutov V.E. Structure and phylogeny of the curly birch chloroplast genome. *Frontiers in genetics*, 2021, no. 12, p. 625764. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.625764>
25. Simpson M. Evolution and Diversity of Woody and Seed Plants. *Plant Systematics*, 2019, p. 131-165. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812628-8.50005-5>
26. Tyshchenko A., Tyshchenko O., Konovalova V., Fundirat K., Piliarska O. Methods of determining the drought resistance of plants. *InterConf.*, 2023. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.05.2023.030>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Калмыкова Елена Владимировна, главный научный сотрудник, зав. лабораторией биоэкологии древесных растений, д-р с.-х. наук, доцент
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской Академии Наук»
(ФНЦ агроэкологии РАН)
пр. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
kalmykova.elena-1111@yandex.ru*

Кузьмин Петр Анатольевич, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией молекулярной селекции, кандидат сельскохозяйственных наук
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской Академии Наук»
(ФНЦ агроэкологии РАН)
пр. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
kizmin-p@vfanc.ru*

Крылов Павел Андреевич, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией геномных и постгеномных технологий, кандидат биологических наук
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской Академии Наук»
(ФНЦ агроэкологии РАН)
пр. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
krylov-p@vfanc.ru*

Мельник Кристина Андреевна, младший научный сотрудник, лаборатория биоэкологии древесных растений
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мели-*

ораций и защитного лесоразведения Российской Академии Наук»
(ФНЦ агроэкологии РАН)
пр. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Феде-
рация
melnik-k@vfanc.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Elena V. Kalmykova, Chief Researcher, Laboratory of Bioecology of Woody Plants, Dr. agricultural Sciences, Associate Professor
Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences” (FSC Agroecology RAS)
97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation
kalmykova.elena-1111@yandex.ru
SPIN-code: 1736-9543
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8530-9995>
ResearcherID: AAY-3733-2020
Scopus Author ID: 57216752208

Pyotr A. Kuzmin, Senior Researcher, Laboratory of Molecular Breeding, Candidate of Agricultural Sciences
Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences” (FSC Agroecology RAS)
97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation
kuzmin-p@vfanc.ru
SPIN-code: 7551-8803
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1303-765X>
ResearcherID: N-4277-2016
Scopus Author ID: 56192995500

Pavel A. Krylov, Leading Researcher, Laboratory of Genomic and Postgenomic Technologies, Candidate of Biological Sciences
Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences” (FSC Agroecology RAS)
97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation
krylov-p@vfanc.ru

SPIN-code: 9652-7459

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9587-5886>

ResearcherID: V-6884-2017

Scopus Author ID: 57213164834

Kristina A. Melnik, Junior Researcher, Laboratory of Bioecology of Woody Plants

Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences” (FSC Agroecology RAS)

97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation

melnik-k@yfanc.ru

SPIN-code: 1736-9543

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7103-6436>

ResearcherID: AAE-5262-2021

Scopus Author ID: 57458285500

Поступила 05.07.2024

После рецензирования 26.08.2024

Принята 14.09.2024

Received 05.07.2024

Revised 26.08.2024

Accepted 14.09.2024