

ости, средняя длина первого членника стержня; Надёжный – короткие ости, короткий первый членник стержня.

Стабильность проявления сортами указанных признаков необходимо проверить, проведя дальнейшие исследования.

Финансирование: Исследование выполнено в рамках технического задания МСХ РФ.

Список литературы

- 1 Решение Совета Евразийской экономической комиссии от 30.01.2020 № 10 «О единых методах определения сортовых качеств семян сельскохозяйственных растений в рамках Евразийского экономического союза»: дата вступления в силу 01.01.2021 // Россельхознадзор: офиц. сайт. – URL: <https://fsvps.gov.ru/ru/fsvps/laws/7584.html> (дата обращения 02.11.2022). – Текст электронный.
- 2 Методика проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность. Ячмень (*Hordeum vulgare* L. sensu lato) 18.08.2005 г. № 12-06/36 // ФГБОУ «Госсорткомиссия»: офиц. сайт. – URL: <https://gossortrf.ru/publication/metodiki-ispytaniy-na-oos.php> (дата обращения 21.02.2024). – Текст электронный.

DOI 10.18699/GPB2024-55

Проблемы верификации гибридов карликовых берез на примере образца из горной популяции Алтая

Медведева С.О.^{1*}, Черепанова О.Е.¹, Филиппов Е.Г.¹, Тептина А.Ю.²

¹ФГБУН Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, Россия

²ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

*email: so.medvedeva@gmail.com

*В 2023 году в процессе экспедиции в горную тундру Алтайского горного массива, были обнаружены образцы *Betula nana* L., предположительно имеющие гибридную природу. Ранее уже высказывались предположения о гибридизации *B. nana* с симпатическим видом – *Betula pubescens* Ehrh., с образованием триплоидных гибридов. На территории России находки гибридов карликовых берез встречаются не часто и подтверждаются исключительно по морфологическим признакам. Отмеченные нами гибриды прошли ступенчатую верификацию с применением современных молекулярно-генетических и цитологических методов анализа. Полученные данные свидетельствуют о триплоидном геноме одного образца и диплоидном всех остальных образцов.*

Ключевые слова: плоидность, гибридизация, береза карликовая, содержание ДНК, размер генома, проточная цитометрия.

Problems of verification of dwarf birch hybrids using the example of a sample from the Altai mountain population

Medvedeva S.O.^{1*}, Cherepanova O.E.¹, Filippov E.G.¹, Teptina A.Yu.²

¹Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

²Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

*email: so.medvedeva@gmail.com

*In 2023, during an expedition to the mountain tundra of the Altai mountain range, samples of *Betula nana* L. were discovered, presumably of a hybrid nature. Previously, suggestions have been made about the hybridization of *B. nana* with a sympatric species – *Betula pubescens* Ehrh., with the formation of triploid hybrids. On the territory of Russia, finds of dwarf birch hybrids are not common and are confirmed solely by morphological characteristics. The hybrids we noted underwent step-by-step verification using modern molecular genetic and cytological methods of analysis. The data obtained indicate a triploid genome of one sample and a diploid genome of all other samples.*

Key words: ploidy, hybridization, dwarf birch, DNA content, genome size, flow cytometry.

Гибридизация – достаточно распространенное явление в процессе видообразования у растений, предположительно около 11 % древесных видов произошли в результате гибридизационных процессов [1]. Межвидовая гибридизация между близкородственными видами в естественных условиях у некоторых таксономических групп происходит достаточно часто, как, например, у представителей рода *Betula*, включающего более 60 таксонов, среди которых встречаются полиплоидные виды [2]. При этом, накоплено относительно мало экспериментальных данных подтверждающих формирование новых форм в результате гибридизации, а также указывающих на приобретение в процессе гибридизации новых адаптаций к изменяющимся условиям среды. Наибольший интерес, среди всего многообразия видов, входящих в род *Betula*, представляют *B. pubescens* (4n), *B. pendula* (2n), *B. nana* (2n), широко распространённые по территории Евразии [3].

Гибридизация *B. nana* с другими видами берез из секции *Betula* малоизученна и представляет практическую ценность для селекции и понимания эволюционных процессов. Как в отечественной, так и в зарубежной литературе встречается описание межвидовых гибридов карликовой березы (*B. nana*) с *B. pendula* Roth. и с *B. pubescens* Ehrh. [1, 4].

Большинство исследовательских работ, описывавших процессы гибридизации между *B. nana*, *B. pubescens* охватывают территорию Европейской части ареалов данных видов, при этом на территории РФ гибридов, подтвержденных не только морфологическими, и иными инструментальными методами ранее обнаружено не

было. Цель нашей работы заключалась в верификации гибридного происхождения некоторых представителей *B. nana*, произрастающих в горной тундре на территории алтайского горного массива.

Всего было собрано по 17–20 побегов *B. nana* с 3х популяции (Семинский перевал, Онгудайский голец, Сарлык), а также 7 побегов *B. pendula* и 2 побега предположительно гибридных растений с популяции Семинский перевал (см. таблицу). Расстояние между отдельными растениями составило не менее 20 м для получения максимальной изменчивости. Подробная методика пробоподготовки, условий и информация об используемых праймерах для проведения цитологических и молекулярно-генетических исследований приведена в наших более ранних работах [5, 6].

Относительное содержание ДНК и размер генома представителей
р. *Betula*

Вид	Географические координаты	2С Содержание ДНК, пг	Предполагаемая плоидность
<i>B. nana</i>	Семинский перевал 51°02'43" с. ш. 85°36'15" в. д.	0,96	2
<i>B. pendula</i>	Семинский перевал 51°02'43" с. ш. 85°36'15" в. д.	0,97	2
<i>Betula</i> гибрид №1	Семинский перевал 51°02'43" с. ш. 85°36'15" в. д.	1,42	3
<i>Betula</i> гибрид №2	Семинский перевал 51°02'43" с. ш. 85°36'15" в. д.	0,97	2
<i>B. nana</i>	Онгудайский голец 50°44'53" с. ш. 86°08'18" в. д.	0,98	2
<i>B. nana</i>	Сарлык 51°04'43" с. ш. 85°44'05" в. д.	0,97	2
<i>B. pubescens</i>	Иремель 54°32'00" с. ш. 58°50'20" в. д.	1,82	4

Визуализацию и обработку гистограмм проводили с использованием штатного программного обеспечения проточного цитометра CyView (Partec, GmbH, Германия). Расчет содержания ДНК и статистическую обработку проводили методами параметрической статистики в Microsoft Excel 2003. Итоговые данные представляют собой среднюю арифметическую величину и стандартную ошибку средней арифметической величины.

Анализ изменчивости полиморфизма транскрибируемого межгенного спейсера (ITS 1–2) ядерной рДНК проведен на материале, полученном из предварительно высушенных в силикагеле листьев берез. Изучение внутригеномного полиморфизма последовательностей ITS 1 и ITS 2 у выявленного триплоидного гибрида проведено

методом NGS с использованием оборудования ЦКП «Геномные технологии, протеомика и клеточная биология» ФГБНУ ВНИИСХМ. Секвенирование негибридных образцов проводили по методу Сэнгера с использованием BrilliantDye v. 3.1 kit (Gene Analyzers 3130; NimaGen, Netherlands). Редактирование и выравнивание полученных последовательностей выполнялось в программах BioEdit7.0 [7] и Mega6 [8].

В результате анализа последовательности ITS 1–2 отметили его слабую изменчивость у берез, что, вероятно, связано с их длительным жизненным циклом [9]. При этом мутации характерные исключительно для *B. nana* отсутствуют, что не позволяет нам верифицировать данный таксон. Часто при анализе хроматограмм сиквенсных реакций ITS 1–2 видны двойные пики, что затрудняет работу с гибридными организмами. В случае с триплоидным гибридом прочитать последовательность ITS 1 и ITS 2 удалось только методом NGS, что дало нам информацию о ведущих цепях и вероятных родителях, которыми предположительно являются *B. nana*, *B. pubescens*. Последнюю рядом с местом произрастания гибрида обнаружить не удалось.

Метод проточной цитометрии, широко используемый исследователями при работе с видами рода *Betula*, представляется авторам более удобным и перспективным для поиска гибридов, происходящих от видов разной плоидности и произрастающих на территории России. Всего в ходе работы было измерено содержание ДНК у 5 образцов с каждой популяции, а также у двух предполагаемых гибридных образцов.

Проанализированные образцы карликовой березы оказались диплоидными. Гибриды показали различные уровни плоидности (см. таблицу). Для контроля в анализ были включены образцы *B. pendula*, произрастающие с местом нахождения гибридов, а также образцы *B. pubescens* с горы Большой Ирмель (Южный Урал).

Общая разрешающая способность фрагментов ITS1 и ITS2 оказалась достаточно низкой для разграничения таксонов рода. Обнаруженные точечные мутации позволили верифицировать только выборочные образцы карликовой березы.

Результаты проточной цитометрии свидетельствуют о существовании малочисленных триплоидных гибридов *B. nana* × *B. pubescens* в популяциях берез, произрастающих в лесном массиве горной тундры на Алтае. Для верификации родительских видов у диплоидных гибридов, необходимо проводить дополнительный подбор изменчивых фрагментов небольшого размера для анализа методом NGS.

Малочисленность гибридов частично указывает на то, что гибридизация между таксонами *B. nana* и *B. pubescens* является редким явлением и, возможно, чаще встречается в более северных районах Западной Евразии.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ № 23-24-00598.

Список литературы

- 1 Ellstrand N.C., Whitkus R., Rieseberg L.H. Distribution of spontaneous plant hybrids // Proceedings of the National Academy of Sciences. 1996. Vol. 93. P. 5090-5093
- 2 Anamthawat-Jónsson K., Thórsson T., Temsch E. M., Greilhuber J. Icelandic Birch Polyploids.

- The Case of a Perfect Fit in Genome Size // Journal of Botany. 2010: 347254.
- 3Tsuda Y., Semerikov V., Sebastiani F., Vendramin G.G., Lascoux M. Multispecies genetic structure and hybridization in the *Betula* genus across Eurasia //Molecular Ecology. 2017. № 26. P. 589–605.
- 4Thorsson Æ. Th., Palsson S., Sigurgeirsson A., Anamthawat-Jonsson K. Morphological variation among *Betula nana* (diploid), *B. pubescens* (tetraploid) and their triploid hybrids in Iceland // Annals of Botany. 2007. № 99 (6). P. 1183–1193.
- 5Медведева С.О., Черепанова О.Е., Толкач О.В., Пономарев В.И., Малосиева Г.В. Данные по изменчивости региона ITS 1-2 ядерной рибосомальной ДНК *Betula turkestanica*, *B. tianschanica*, *B. procurva* //Лесохозяйственная информация. 2023. № 2. С. 127–135.
- 6Медведева С.О., Черепанова О.Е., Тептина А.Ю. Определение размера генома *Betula nana* L. // В сборнике: Актуальные вопросы охраны биоразнообразия. Материалы III Международной научной конференции. Отв. редактор А.Р. Ишбирдин. 2022. С. 105–107.
- 7Hall, T.A. Bioedit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT / T.A. Hall // Nucl. Acid Symp. 1999. № 41. P. 95–98. DOI: 10.12691/ajmr-3-2-1.
- 8K. Tamura, G. Stecher, D. Peterson, A. Filipski, S. Kumar. MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 6.0 // Molecular biology and evolution. 2013. Т.30. № 12. P. 2725–2729. DOI: 10.1093/molbev/mst197.
- 9Tarieiev A., Gailing O., Krutovsky K. Resolving the phylogeny of birch (*Betula* L.) using both nucleotide sequence and secondary structure of highly polymorphic ITS1 and ITS2 barcoding loci.

DOI 10.18699/GPB2024-56

Изменчивость плодов разных сортов яблони домашней (*Malus domestica* Borkh) в Ботаническом саду им. Вс.М. Крутовского

Моксина Н.В. *, к.с.-х.н., доц.; Коломыцев М.В., инженер-исследователь; Шпилев В.С., инженер-исследователь

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», Красноярск, Россия

*email: n.moksina2010@yandex.ru

Приведены результаты изучения изменчивости массы плодов яблони домашней, произрастающей в мемориальной части Ботанического сада им. Вс.М. Крутовского. Выделены сорта, отличающиеся высокими показателями для дальнейшей селекционной работы.

Ключевые слова: яблоня домашняя, сорт, изменчивость, плоды, масса.

Variability of fruits of different varieties of domestic apple (*Malus domestica* Borkh) in the botanical garden named after Vs. M. Krutovsky

Moksina N.V. *, Kolomytsev M.V., Shpilev V.S.

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. Krasnoyarsk, Russia

*email: n.moksina2010@yandex.ru